Untersuchungen über die Höhenwindverhältnisse benachbarter aerologischer Stationen

Inaugural-Dissertation

zur Erlangung des Doktorgrades
genehmigt von der Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät
der Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

von

Fritz Graf
aus Halle (Saale)

Tag der Promotion: 20. Mai 1940
Tag der mündlichen Prüfung: 22. Juni 1938

Druck: Buchdruckerei F. Mitzlaff / Rudolstadt i. Thür.

N 10

Berichterstatter: Prof. Dr. J. Kölzer

Prof. Dr. A. Defant

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

INHALTSVERZEICHNIS.

Seite

EINLEITUNG 3

Erster Teil.

AUSWAHL DES MATERIALS; VORGEFUNDENE VERGLEICHSVERHÄLTNISSE IN DEN UNTERSUCHTEN GEBIETEN 8

A. Charakterisierung des verwendeten Materials; vorbereitende Arbeiten 8

I. Lage der gewählten Stationen 8

II. Auswahl und Tabellierung der Höhenwindmessungen 9

III. Über die Einseitigkeit des Materials durch gesteigerte Bevorzugung von Schönwetterlagen 11

IV. Fehlermöglichkeiten bei Pilotwindmessungen 11

V. Aufstellung von Vergleichsmaßstäben und Kennzeichnung der vorkommenden Abweichungen 16

B. Häufigkeit typischer Vergleichsverhältnisse in der Strömung über den ausgewählten Bezirken 20

I. Aufstellung von Hauptgruppen, entsprechend dem Vorkommen übereinstimmender und voneinander abweichender Vergleichswerte 20

II. Verteilung der tabellierten Termine auf diese Gruppen 21

Zweiter Teil.

DAS STRÖMUNGSFELD IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WETTERLAGE. (Untersuchungen mit dem Ziel, aus der Höhenwetterlage die Ursachen für die verschiedenen Vergleichsverhältnisse herzuleiten) 24

A. Arbeitsmethode zur Auffindung der für Unregelmäßigkeiten in der Höhenströmung verantwortlichen Faktoren 24

I. Gradientwind — tatsächlicher Wind 24

II. Über die vertikale Gültigkeit der Bodendruckkarten 25

III. Anfertigung von Höhenkarten und Protokollen für die Termine 26

B. Übersicht über die bei der Ausarbeitung der Höhenwetterlagen gemachten Feststellungen 29

Seite

C. Einzeluntersuchungen der Störungsursachen*) . . . 30

I. Kernlage oder -nähe 30

II. Flaches Druckgefälle 34

III. Enge Isobarenkrümmungen und Knicke 45

IV. Sprungschichten 50

V. Unterschiedliche Lage der Stationen zu den Zentren barometrischer Gebilde 60

Dritter Teil.

MÖGLICHKEITEN ZUR BEURTEILUNG DES STRÖMUNGSFELDCHARAKTERS IN DER ABHÄNGIGKEIT VON DER WETTERLAGE . . . 70

Die Beurteilung der Wetterlage:

A. An Hand von Höhendruckkarten 70

B. Ohne aktuelle Höhendruckkarten, mit Hilfe der Bodenwetterkarte 72

I. Vorbemerkungen 72

II. Über die allgemeine Konstitution der Druckgebilde und Methoden zu deren Diagnose im Einzelfall 73

ZUSAMMENFASSUNG 77

ANHANG 80

Abkürzungen und Zeichen 80

Literaturverzeichnis 81

Wetterkarten 82

*) Den Einzelabschnitten sind der besseren Übersicht wegen im Text besondere Teildispositionen vorangestellt worden.

EINLEITUNG.

Das Wetterkartenbild unserer Breiten zeigt häufig ein recht belebtes Aussehen, und es teilen sich dann nicht selten in verhältnismäßig kleine Gebiete mehrere Witterungsarten zugleich.

Wie unvermittelte Übergänge dabei möglicherweise vorkommen können, zeigt uns die Natur zuweilen sehr anschaulich: Die raschen Veränderungen der meteorologischen Erscheinungen, wie man sie etwa beim Überschreiten einer wirksamen Wetterscheide erleben kann, ist auch für den mit dem Wettergeschehen in ständiger Verbindung stehenden Meteorologen stets von neuem eindrucksvoll. Mit Wetterscheiden bezeichnet man im allgemeinen mehr oder minder stilliegende Witterungsgrenzen, die häufig orographisch mitbedingt und dann in bestimmten Gebieten vorzugsweise anzutreffen sind.

Noch stärkere Gegensätze können gegebenenfalls beim Durchgang von Fronten auftreten, die zusammen mit den wandernden Druckgebilden, denen sie angehören, bisweilen mit erheblicher Geschwindigkeit über uns hinwegziehen. Es sind Trennungsflächen zwischen den verschiedenartigen, die barometrischen Gebilde zusammensetzenden Luftmassen. — Der Luftmassenwechsel z. B. beim Durchgang einer ausgeprägten Kaltfront, die einer gut entwickelten, noch nicht okkludierten Zyklone angehört, bringt häufig geradezu sprungartige Veränderungen ziemlich aller meteorologischen Daten, von der im Barogramm aufgezeichneten „Drucknase" bis zum völlig veränderten Aussehen des Himmels.

In derartigen Fällen werden auch nahe beieinanderliegende, benachbarte Wetterstationen, sofern sie sich zu verschiedenen Seiten solcher Witterungsgrenzen befinden, oft sehr verschiedene meteorologische Beobachtungs- und Meßwerte zeigen. — Als Gegenbeispiel ließen sich noch diejenigen Wetterlagen anführen, bei denen das Witterungsgepräge über relativ weite Gebiete annähernd gleich bleibt, in welchen Fällen man also auch für entsprechend weit auseinanderliegende Stationen in bezug auf die allgemeine Wetterlage gleiche Voraussetzungen annehmen kann.

Es ist jedenfalls zu erwarten, daß die Vergleichsverhältnisse zwischen benachbarten Stationen von Fall zu Fall starken Schwankungen unterliegen können, bzw. — was dasselbe bedeutet — daß der Gültigkeitsbereich von an einer Station gewonnenen Beobachtungen und Meßwerten sehr verschiedengradig sein kann, und zwar in Abhängigkeit von der jeweils herrschenden Großwetterlage.

Mit den vorliegenden „Untersuchungen über die Höhenwindverhältnisse benachbarter aerologischer Stationen" ist versucht worden, für die Frage des

Gültigkeitsbereiches von Höhenwindmessungen — die für viele Zweige der Praxis von großer Bedeutung ist — einen Beitrag zu liefern. Soweit bei Durchsicht der einschlägigen Literatur festgestellt werden konnte, liegen Arbeiten, welche die eingehende Behandlung dieser Aufgabe zum Gegenstand haben, außer einer solchen von J. Kölzer nicht vor.

Kölzer berichtet über seine diesbezüglichen Untersuchungen in einer Abhandlung: „Zur Frage des Gültigkeitsbereichs von Höhenmessungen“ [29]) *). — Eingangs wird dort mitgeteilt, daß man in der Praxis im Mittel mit einem örtlichen Gültigkeitsbereich der Höhenwindmessungen von 20 bis 30 km rechnet. Zugleich wird aber hervorgehoben, was oben ebenfalls bereits zum Ausdruck gebracht wurde, daß der Mittelwert auch hier im Einzelfall sich erheblich ändern kann; „und gerade der Einzelfall wird in der überwiegenden Zahl aller Fälle das größte Interesse beanspruchen“. — Das Entsprechende gilt für den zeitlichen Gültigkeitsbereich von Höhenwindmessungen, für den man in der Praxis im Mittel die Spanne von 2 bis 3 Stunden ansetzt.

Zur näheren Prüfung dieser Frage werden von Kölzer Pilotwindmessungen aus Norddeutschland herangezogen, und zwar aus drei verschiedenen Bezirken: Der erste ist ein im Süden Berlins gelegenes Stationsdreieck, dessen Eckpunkte, die Höhenwindmeßstellen Tempelhof, Kummersdorf, Lindenberg, einen gegenseitigen Abstand von der Größenordnung 50 km besitzen. — Die beiden anderen Bezirke liegen an bzw. nahe der Nordseeküste: Das von den Orten Schillig, Karolinensiel, Wangerooge und Spickeroog gebildete Viereck mit der mittleren Seitenlänge von 12 bis 15 km, und schließlich zwei um etwa 20 km auseinanderliegende Pilotierungspunkte in der Gegend von Meppen.

Verwendet wurden dabei 12 + 22 + 62 = 96 Fälle insgesamt. Bei der Zusammenfassung der erhaltenen Ergebnisse wird zunächst mitgeteilt, daß hinsichtlich des örtlichen Gültigkeitsbereichs eine Beeinflussung des Strömungsfeldes durch die großen Luftdruckgegensätze im allgemeinen nicht festgestellt werden konnte (größte Entfernungen von der Größenordnung 50 km). Dagegen werden als Störungsursachen die kleinen, rasch beweglichen Rand- oder Teiltiefs bezeichnet. Diese können schon bei Entfernungen von etwa 20 km verschieden auf das Strömungsfeld eines solchen Gebietes einwirken, was aber um so weniger in Erscheinung tritt, je mehr die Entfernungsrichtung der Meßorte in die Isobarenrichtung fällt. Bei Meßorten mit gegenseitigem Abstand von etwa 50 km muß unter ihrem Einfluß fast regelmäßig mit Unterschieden von Windrichtung und -geschwindigkeit gerechnet werden. — Aus der Tatsache, daß die kleinen Druckstörungen meist schneller fortschreiten als die großen Druckgebilde selbst, ergibt sich, daß jenen auch für den zeitlichen Gültigkeitsbereich von Windmessungen der größere Einfluß zukommt.

In Weiterverfolgung des durch die Untersuchungen Kölzers angedeuteten Weges wurde nun mit der vorliegenden Arbeit versucht, zu weiteren Erkenntnissen in dieser Frage zu gelangen und die einzelnen Witterungsfaktoren, durch die im Einzelfall die verschiedengradige Gleichförmig-

*) Die in der Arbeit angeführten Literaturstellen sind in einem besonderen Anhang zusammengefaßt. (S. 81 f.)

keit des Strömungsfeldes verursacht wird, qualitativ herauszustellen und, soweit möglich, deren quantitativen Einfluß kennenzulernen.

Nachdem im ersten Teil*) über das verwendete Material und über Vorkommen und Häufigkeit bestimmter typischer Vergleichsverhältnisse berichtet worden ist, gibt der zweite Teil zunächst Aufschluß über die Untersuchungsmethoden, mit denen der Zusammenhang zwischen Wetterlage und Strömungsfeld zu bestimmen war; unter dem Abschnitt C dieses Teiles wird auf die in dieser Hinsicht ausgeführten Einzeluntersuchungen und die daraus erhaltenen Ergebnisse näher eingegangen. Außer der Bodenwetterkarte kamen hierzu in starkem Maße die zugehörigen Höhenwetterkarten zur Verwendung. Im dritten Teil werden die Möglichkeiten diskutiert, die in der Praxis je nach Maßgabe der vorhandenen Wetterbeobachtungen und -meldungen zu einer Diagnose der gerade herrschenden Wetterlage führen können, wie sie zur Beurteilung des Strömungsfeldcharakters nötig ist.

*) Siehe auch das vorangestellte Inhaltsverzeichnis.

Erster Teil.

AUSWAHL DES MATERIALS; VORGEFUNDENE VERGLEICHSVERHÄLTNISSE IN DEN UNTERSUCHTEN GEBIETEN.

A. CHARAKTERISIERUNG DES VERWENDETEN MATERIALS; VORBEREITENDE ARBEITEN.

I. Lage der gewählten Stationen.

Für die geplanten Stromfelduntersuchungen sollten die Schichten bis zu 5 km Höhe und horizontale Entfernungen von der Größenordnung 100 km zwischen den benachbarten Stationen zugrunde gelegt werden. Ferner war beabsichtigt, zwecks Herausstellung etwa vorhandener grundsätzlicher Unterschiede je ein Gebiet in Meeresnähe und ein solches im Binnenland getrennt zu bearbeiten. Jedes Gebiet sollte durch drei Stationen vertreten werden, also ein Dreieck darstellen mit möglichst annähernd gleich langen Seiten von ungefähr 100 km Länge.

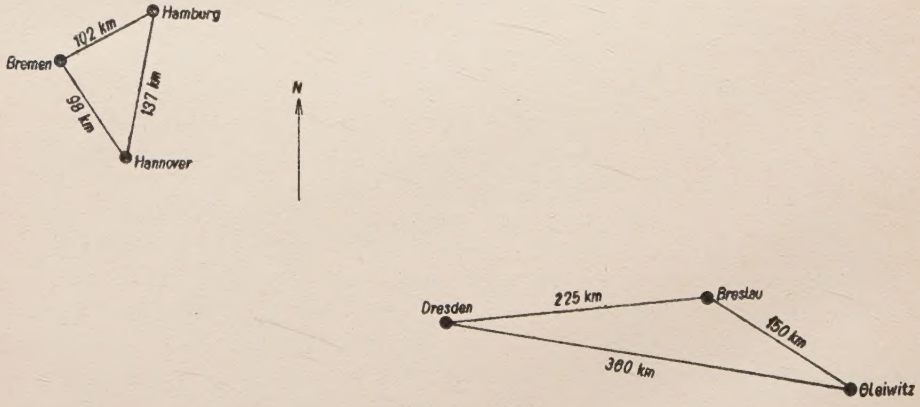


Abb. I.

Im küstennahen nordwestdeutschen Flachland ließen sich die Wetterwarten Hamburg, Hannover und Bremen relativ gut zu einem solchen Stationsdreieck zusammenfügen, das den gestellten Anforderungen genügte. (Siehe die Übersichtskarte Abb. I.) Die Entfernungen zwischen den drei Aufstiegsstellen sind folgende:

Hamburg — Hannover : 137 km
Hamburg — Bremen : 102 km
Bremen — Hannover : 98 km.

Die Auswahl eines entsprechenden Bezirkes möglichst weit landeinwärts war sehr schwierig, bzw. bei der für vergleichende Zwecke nicht zu umgehenden Forderung nach annähernd gleicher Form und Größe des Dreieckes nicht möglich. Die beiden schlesischen Pilotmeßstellen Breslau und Gleiwitz können mit ihrem gegenseitigen Abstand von 150 km als einigermaßen brauchbar angesehen werden. Als dritte Station kam aber nur Dresden in Frage, und dies befindet sich für Breslau und Gleiwitz reichlich abseits. Es ergaben sich damit folgende Entfernungen:

Dresden — Breslau : 225 km
Dresden — Gleiwitz : 360 km
Breslau — Gleiwitz : 150 km.

Bei Abständen wie diesen von mehr als 200, ja bis über 350 km kann man kaum noch von Nachbarschaft zwischen diesen Stationen sprechen. — Von den heute vorhandenen Wetterdienststellen der Fliegerhorste konnte keine als besser zu Breslau und Gleiwitz passende dritte Station verwendet werden, weil von diesen erst in den letzten Jahren eingerichteten Meßorten zu dem Zeitpunkt, als diese Untersuchungen begonnen wurden, noch nicht genug Beobachtungsmaterial zur Verfügung stand. Wenn somit auch für wirklich vergleichende Untersuchungen in bezug auf Meeresnähe einerseits, Kontinentallage andererseits die Voraussetzungen denkbar ungeeignet waren, so wurde das von diesen drei südostdeutschen Stationen verwendbare Material in Ermanglung von günstiger gelegenen Beobachtungsstellen trotzdem ausgewertet. — Ein, wenn auch nur sehr oberflächlicher Überblick über die Großstruktur eines so weitläufigen Stromfeldes wird für uns hier zumindest nicht uninteressant sein. —

Außer der ungünstigen Stationslage dieses Bezirkes erwies sich aber auch das Beobachtungsmaterial selbst — auf das im folgenden eingegangen werden soll — bei den südostdeutschen Pilotierungsstellen zum Gebrauch für unsere Zwecke als sehr mangelhaft, so daß ohnehin im wesentlichen nur die Strömungsfeldmessungen im nordwestdeutschen Bezirke für eine erfolgversprechende Auswertung in Frage kamen.

II. Auswahl und Tabellierung der Höhenwindmessungen.

Die Grundlage der Untersuchungen bildeten die an diesen sechs Stationen ausgeführten Höhenwindmessungen. Gemäß der gestellten Aufgabe galt es zunächst, den jeweiligen Charakter des Stromfeldes in den gewählten Bezirken festzustellen; und zwar sollte dies — wie auch alle anderen Untersuchungen dieser Arbeit — für die Schichten **bis 5 km** Höhe ausgeführt werden.

Für die Auswertung kamen nun solche Termine in Frage, bei denen Höhenwindsondierungen bis mindestens 5 km Höhe bei allen drei Stationen eines Bezirkes **gleichzeitig** vorhanden waren. Für die Forderung der Gleich-

zeitigkeit wurden bei dieser Auswahl Unterschiede der Aufstiegszeiten bis zu 2, im Höchstfalle 3 Stunden zugelassen. Dies ist die Spanne, die auch im praktischen Wetterdienst für synoptische Darstellungen gilt. Einige wenige Male wurden auch mehr als drei Stunden auseinanderliegende Aufstiege mitverwendet, jedoch ist dann auf eventuell dadurch bedingte Störungen besondere Obacht gegeben worden.

Die deutschen und auch eine große Anzahl ausländischer Beobachtungen aus der freien Atmosphäre sind seit Juni 1926 in den „Aerologischen Berichten" herausgegeben[1]). (Seit Januar 1936 in teilweise veränderter Form im Teil V des „Deutschen Meteorologischen Jahrbuches"[2]).) Die dort veröffentlichten Höhenwindmeßreihen **aus der Zeit vom 1. Juni 1926 bis zum 31. Dez. 1935** wurden nach den oben angeführten Gesichtspunkten — d. h. gleichzeitige Aufstiege bis mindestens 5 km Höhe an allen drei Stationen eines Bezirkes — durchgesehen.

Dabei ergaben sich für das durch Hamburg, Hannover, Bremen vertretene **nordwestdeutsche** Dreieck insgesamt **163 Fälle.**

In dem südostdeutschen Stationsdreieck dagegen kam es in demselben Zeitraum nicht ein einziges Mal vor, daß für alle drei Stationen zugleich Messungen bis 5 km Höhe vorhanden waren. Dies zeigt nebenbei bemerkt die erstaunliche Inhomogenität des Beobachtungsmaterials zwischen deutschen Stationen verschiedener Gebiete.

Wurde die geforderte Mindesthöhe herabgesetzt auf 3 km, dann standen für den **südostdeutschen** Bezirk insgesamt **52 Termine** zur Verfügung.

Für jeden Termin wurden nun die zusammengehörigen Meßreihen von den drei Stationen des betreffenden Bezirkes herausgesucht und bei gleichzeitiger Entschlüsselung in geeigneter Weise tabelliert. Die Angabe der Windgeschwindigkeit erfolgte in m/sec, der Richtung nach der 32-teiligen Skala, und zwar für die Stufen: Boden, 500, 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 4000, 5000 m. — Die in den Aerologischen Berichten veröffentlichten Windmeßreihen sind im allgemeinen bereits nach diesem Schema angeordnet; in einer Anzahl von Fällen mußte aber interpolierend die betreffende fehlende Haupthöhenstufe ergänzt werden.

Es kam verschiedentlich vor, daß von einer Station für einen Termin zwei Aufstiege zur Verfügung standen, sei es, daß dort innerhalb von Stunden mehrere Ballone vermessen wurden, oder sei es, daß zusätzlich an einer zweiten Aufstiegstelle ebenfalls gemessen wurde (Hamburg: Fuhlsbüttel und Seewarte). In solchen Fällen wurde von diesen Meßreihen entweder die zeitlich oder bezüglich Gipfelhöhe günstigste ausgewählt, oder aber durch Interpolieren bestmöglich ausgeglichene Mittelwerte gebildet.

Bevor ausführlicher auf die zur Auswertung erforderlichen vorbereitenden Arbeiten eingegangen wird, erscheint es angebracht, einige allgemeine Betrachtungen hinsichtlich Art und Eigenschaften der Meßwerte anzustellen, die für die vorliegenden Untersuchungen zum Ausgang genommen wurden.

III. Über die Einseitigkeit des Materials durch gesteigerte Bevorzugung von Schönwetterlagen.

Zunächst soll an dieser Stelle auf die bekannte Tatsache hingewiesen werden, daß infolge des optischen Pilotmeßverfahrens eine gewisse Einseitigkeit des Materials durch Bevorzugung von Schönwetterlagen nicht zu vermeiden ist. Und dies gilt gerade für den vorliegenden Fall in gesteigertem Maße, weil ja nur Aufstiege mit Mindestgipfelhöhen von 5 bzw. 3 km verwendet wurden. Auf diese Weise wurden Wetterlagen, die von geschlossenen Wolkendecken in den unteren und mittleren Wolkenniveaus begleitet waren, von vornherein von der Untersuchung ausgeschlossen. (Siehe auch S. 23 Mitte.) Dieser Nachteil könnte nur durch Verwendung von Beobachtungsmaterial ausgeschaltet werden, das durch von der Sicht unabhängige Meßverfahren gewonnen wurde, also etwa durch Fesselaufstiege oder Radiosonden (eventuell auch Knallpiloten). Eine Verwendung der beiden einzigen deutschen Stationen mit regelmäßig ausgeführten Fesselaufstiegen, Lindenberg und Friedrichshafen, kam für die vergleichenden Untersuchungen dieser Arbeit kaum in Frage. Windmessungen mit Radiosonden sind bisher noch nicht mit solcher Regelmäßigkeit durchgeführt worden, daß bereits eine gewisse Materialauswahl zur Verfügung stände.

Somit ließ sich also an dieser bestehenden Einseitigkeit des Materials nichts ändern, sie war aber gegebenenfalls bei Herausstellung von Ergebnissen mit in Betracht zu ziehen.

IV. Fehlermöglichkeiten bei Pilotwindmessungen.

Ähnlich steht es mit einem anderen Mangel, der den im praktischen Wetterdienst gewonnenen Windmeßwerten aus der freien Atmosphäre leider anhaftet: Die Pilotballone werden im Flugwetterdienst fast durchweg nur mit einem Theodolit vermessen. Bekanntlich ist man bei diesen Einfachanschnitten auf die Annahme konstanter Steiggeschwindigkeit der Ballone angewiesen, während bei Verwendung von mindestens zwei Theodoliten ebenso wie der Ballonort in der Horizontalprojektion auch seine jeweilige Höhe allein durch die am Instrument abgelesenen Winkel gefunden werden kann. Dadurch ist durch Vergleiche von Einfach- mit Mehrfachanschnitten eine Möglichkeit gegeben, die angenommene Steiggeschwindigkeit der Ballone zu kontrollieren. Auf diese Weise hat man bekanntlich feststellen müssen, daß mitunter nicht geringe Schwankungen der Steiggeschwindigkeit von Pilotballonen vorkommen können, obgleich — was ja selbstverständlich ist — die Voraussetzungen, soweit sie den Ballon und seine Füllung betreffen, bestmöglich konstant gehalten wurden.

Kölzer macht über seine diesbezüglichen Erfahrungen in einer Arbeit, die sich mit besonderen Methoden für Höhenwindmessungen bei Nacht befaßt, nähere Angaben [30]). In einer vergleichenden Zahlentafel werden dort die bei einer Reihe von Pilotaufstiegen durch Mehrfachanschnitte gemessenen tatsächlichen Steigwerte der Gummiballone den auf Grund der Theorie ermittelten Steiggeschwindigkeiten (Hesselberg-Birkeland; Raethjen) gegenübergestellt. Für unbelastete Ballone ergaben sich zwischen ge-

messener und berechneter Aufstiegsgeschwindigkeit Differenzen etwa von den Größenordnungen 6 bis über 30%, für belastete dagegen bis 60% (Nachtpiloten mit Beleuchtungseinrichtung). — Im „Handbuch der Instrumentenkunde" von E. Kleinschmidt [28]) wird desgleichen angegeben, daß Abweichungen der Steiggeschwindigkeit von den Werten, die mit den gebräuchlichen Formeln und Tabellen berechnet wurden, um 10% und mehr vorkommen. — In besonders krassen Fällen hat Kölzer aus Kummersdorfer*) Vergleichsmessungen mit Doppelanschnitten Abweichungen bis zu 100% in der angenommenen Steiggeschwindigkeit gefunden, und zwar vor allem in den bodennahen Schichten [29]). — P. Mildner [31]), der im Laufe eines Herbsttages (1931) nacheinander eine Reihe von Doppelvisierungen in relativ kurzen Zeitabständen ausführte — um die Luftunruhe an diesem Tage zu untersuchen — stellte dabei ebenfalls sehr unregelmäßige Werte der Steiggeschwindigkeit fest.

Als Hauptursache kommen für diese Tatsache wohl in erster Linie **Vertikalbewegungen** in der freien Atmosphäre in Frage, und diese mögen wiederum sowohl mit dem turbulenten als auch dem thermischen Austausch im Zusammenhang stehen. Die besonders ausgeprägte Neigung zu Luftmassenversetzungen in der Vertikalen in labil geschichteter Rückseitenströmung tritt mit dem von Süring so genannten typischen „Konvektionshimmel" augenfällig in die Erscheinung. — Über die Größenordnung der dabei auftretenden Geschwindigkeiten nach oben und auch nach unten haben die in den letzten Jahren zahlreich ausgeführten Thermiksegelflüge Aufschluß gebracht. — In der „Deutschen Luftwelt" vom Oktober 1937 schildert H. Döbler an Hand eines sehr interessanten Barogrammes einen motorlosen Flug von Nürnberg nach Bad Kissingen am 27. Juni 1937. Er wurde bei ziemlich starker Cumulusbildung und mäßigem Südostwind durchgeführt. Die wiedergegebene Barographenkurve mit ihrem wechselvollen Auf und Ab gibt ein sehr anschauliches Bild vom Strömungszustand an diesem Tage. In den cumulusgekrönten Aufwindschläuchen zeigte das Variometer in diesem Fall bis zu 3 m/sec Aufwärtsbewegung des Flugzeuges an. (Der wahre Aufwind ergibt sich durch Hinzufügen der Sinkgeschwindigkeit des Flugzeuges; sie ist von der Größenordnung 1 m/sec.) — Bekanntlich werden bei Kondensationsbildung die bereits vorhandenen Labilitäten verstärkt, so daß an der Einbruchsfront von Kaltluftmassen, wo jedenfalls zu den thermischen noch dynamische Effekte treten, Aufwärtsbewegungen von 10 m/sec und mehr unter und in den aufquellenden Cumulonimben festgestellt worden sind. — Nach E. Kleinschmidt kommt der Einfluß [28]) der Vertikalbewegungen im wesentlichen für die unteren 1000 bis 2500 m hohen Schichten in Frage, bei heiterem Himmel weniger als bei Vorhandensein von Haufenwolken; am stärksten sind sie unter Cumulonimben. — Doch geht aus der oben bereits erwähnten Arbeit von Kölzer [30]) in Übereinstimmung mit neueren Ergebnissen hervor, daß auf- und abwärts gerichtete Luftströme auch in der höheren Troposphäre auftreten. Im allgemeinen kann man annehmen, daß diese „freien Vertikalbewegungen" für die untersten Schichten in Bodennähe

*) Schießplatz bei Zossen südlich von Berlin.

geringer oder jedenfalls weniger wirksam werden, weil die aufgelockerten Luftmassen anfangs in kleinen Quanten emporsteigen und sich erst auf ihrem Wege nach oben zu größeren Gebilden zusammenschließen. — Dies konnte Verfasser des öfteren beim Segelfliegen selbst feststellen, z. B. gelegentlich von Schleppflügen vom Flugplatz Kassel aus. Es ist dabei wichtig, zu bemerken, daß die Umgebung des Kasseler Platzes relativ eben ist. Bei Vorhandensein von größeren Bodenhindernissen werden aber in diesen unteren Schichten bei gleichzeitig wehendem Wind statt dessen „erzwungene Vertikalbewegungen" auftreten, indem nun diese Bodenhindernisse die Stromlinien deformieren und gegebenenfalls für verstärkte Verwirbelung gerade in den unteren Schichten sorgen. — R. Becker hat recht häufig vorkommende Vertikalbewegungen um 1 m/sec, in verschiedenen Fällen bis über 2 m/sec in nur 3,5 m Höhe über dem Boden gemessen [3]); ob diese auf thermische oder dynamische Vorgänge zurückzuführen sind, ist nicht ohne weiteres zu entscheiden.

Von den sonstigen Faktoren, welche die Geschwindigkeit des aufsteigenden Ballons beeinflussen können, ist der **allgemeine Turbulenzzustand** der Luft zu nennen, wobei jetzt nicht die mitnehmende Wirkung nach oben strebender Luftquanten gemeint ist, sondern die Luftwiderstandsverringerung, die der Ballon beim Steigen in turbulenter Luft gegenüber dem in ruhiger Luft erfährt. Ausführliche Untersuchungen hat hierüber R. Wenger bereits 1917 angestellt [43]). Siehe auch [30]) (Kölzer).

Des weiteren ist der **Temperaturzustand** der Atmosphäre von Bedeutung, indem labile Schichtung (mit großem vertikalen Temperaturgradienten) aufsteigenden Bewegungen sowohl von Luftquanten wie auch von Ballonen förderlich ist, während umgekehrt eine stabil geschichtete Atmosphäre Vertikalbewegungen zu unterdrücken sucht. Daß unter hinreichend ausgeprägten Inversionen Pilotballone schwimmend eine Zeitlang ohne Höhengewinn weitertreiben können, ist bekannt. Sie setzen ihr Aufsteigen erst fort, wenn sich die Temperatur ihrer Gasfüllung derjenigen der umgebenden Luft annähernd angepaßt hat und wieder Auftrieb vorhanden ist.

Endlich kann der Ballon selbst noch Anlaß dazu geben, daß er nicht in den berechneten Zeiten in den angenommenen Höhen fliegt: Durch Abweichungen von der genauen Kugelgestalt, stärkere Gasverluste durch Undichtigkeiten und durch Pendelungen. —

Was geschieht, wenn beim Auswerten einer Meßreihe mit falschen Höhen gerechnet wird? Es sei z. B. der bei A aufgelassene Ballon (siehe Abb. II) nach einer gewissen Zeit tatsächlich am Punkte P′ in der Höhe h′, während er sich annahmsweise in der Höhe h am Punkte P befinden müßte. Außer diesem Höhenunterschied, der etwa durch Schwimmen des Ballons unter einer Sperrschicht entstanden sein mag, ergibt sich noch die

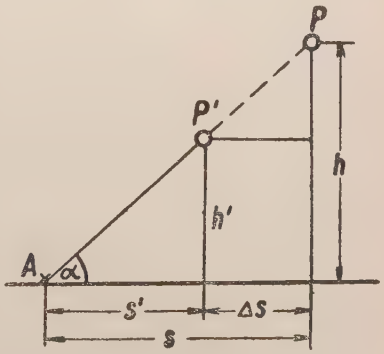


Abb. II.

Differenz $\triangle s$ zwischen der Horizontalprojektion der berechneten und derjenigen der tatsächlichen Flugbahn.

Wenn also wie hier die Auswertung mit zu großer Höhe vorgenommen wird, dann entstehen zwei Fehler:

1. Die mittlere Geschwindigkeit für die durchflogene Schicht wird zu groß gefunden;
2. Die vertikale Erstreckung dieser Schicht ist tatsächlich kleiner als angenommen, d. h. die gemessenen Geschwindigkeiten werden für zu große Höhen angenommen.

Der zweite Fehler wirkt sich auf alle darüberliegenden Meßwerte aus. — Entsprechend gilt das Umgekehrte, wenn der Ballon schneller steigt, als erwartet.

Man sieht, es gibt recht viele Möglichkeiten, welche die Annahme einer bestimmten konstanten Steiggeschwindigkeit illusorisch machen können. — Obgleich zu dieser Frage bereits zahlreiche sowohl experimentelle wie theoretische Untersuchungen angestellt worden sind, ist es, soweit dem Verfasser bekannt, bisher noch nicht gelungen, Angaben zu liefern, nach denen man den quantitativen Einfluß der einzelnen Störungsursachen im Einzelfall berücksichtigen könnte. Die mannigfach möglichen und oft unkontrollierbaren Voraussetzungen werden der Grund dafür sein.

Man muß sich im allgemeinen damit begnügen, bei besonders krassen Fällen mögliche abnorme Verhältnisse qualitativ abzuschätzen. — Für genauere Untersuchungen empfiehlt es sich, auf Mehrfachanschnitte zurückzugreifen. Bei der vorliegenden Arbeit, für die nur das aus dem Flugwetterdienst vorliegende Beobachtungsmaterial benutzt werden konnte — wobei es sich, wie bereits erwähnt, fast nur um einfach visierte Ballone handelt — war das nicht möglich. Eine Mitverwendung der Mehrfachanschnitte aus den Gebieten der Schießplätze Kummersdorf bei Berlin und Meppen an der unteren Ems, die von Prof. Kölzer zur Verfügung gestellt wurden, mußte — wie eine diesbezügliche Prüfung ergab — leider unterbleiben; und zwar deshalb, weil diese Meßreihen — die an sich, da z. T. mit 3 und 4 Theodoliten gewonnen, ein verhältnismäßig sehr gutes Material darstellen, bei welchen es sich aber im wesentlichen um sporadisch ausgeführte Aufstiegsserien handelt — hinsichtlich der Beobachtungszeiten gewöhnlich nicht zu den ausgewählten Pilotierungen vom Flugwetterdienst passen.

Bei Verwendung von mehreren Theodoliten können größere Ungenauigkeiten in die Messung kommen, wenn die Basis ungünstig zur Flugbahn liegt derart, daß sich zu spitze Winkel für die Auswertung ergeben; durch Arbeiten mit mindestens 3 Theodoliten kann dies vermieden werden. Zu Beginn einer Messung können größere Fehler durch mangelhafte Synchronität der Messungen entstehen. (Siehe u. a.: Mildner, Hänsch, Griesbach: Doppelvisierungen von Pilotballonen zur Untersuchung von Turbulenz und Vertikalbewegungen in der Atmosphäre. Beitr. Phys. d. fr. Atm. XVII (1931), S. 186—199.) —

Selbst wenn es möglich wäre, alle bisher erwähnten Fehlermöglichkeiten auszuschalten, so würde dennoch dem Einzelwert einer so gewonnenen Pilot-

meßreihe eine nur bedingte repräsentative Bedeutung zukommen infolge eines Umstandes, der mit der Struktur des Stromfeldes selbst im Zusammenhang steht. Es ist das die immer vorhandene, wenn auch von Fall zu Fall verschieden ausgeprägte **Luftunruhe**. Der Wind neigt stets zu Schwankungen — sowohl der Richtung wie der Geschwindigkeit — um einen Mittelwert. F. M. Exner stellt fest, „es scheint das Pendeln um eine mittlere Bewegungsrichtung der wahrscheinlichere und stabilere Zustand zu sein, als die Bewegung selbst“ [11]). — Für Wetterlagen, wo die Isobaren über Europa längere Zeit geradlinigen Verlauf zeigen, hat zuerst J. W. Sandström eine wellenförmige Gestalt der Stromlinien nachgewiesen [36]), die von dieser Tendenz der Luft zu oszillierender Bewegung herrühren wird. — In seinem Buch „Wetter und Wettervorhersage“ führt A. Defant ebenfalls das Auftreten solcher Wellen bei geradlinigem Isobarenfeld an und bringt dazu ein anschauliches Beispiel [5]). —

Eine ausführlichere Besprechung dieses Problems würde hier zu weit führen. Es sind dazu schon recht zahlreiche und z. T. sehr interessante Versuche angestellt worden. Aus allen geht hervor, daß die Struktur des Stromfeldes sowohl am Boden wie in der Höhe von einer ganzen Anzahl von Voraussetzungen abhängt und daß unser Wissen von der tatsächlichen Strömung noch sehr lückenhaft ist. W. Georgii [24]) gibt in seiner „Flugmeteorologie“ in dem Abschnitt über die „Struktur des Windes“ eine ausführliche zusammenfassende Übersicht über die bis zum Erscheinen dieses Buches (1927) vorliegenden Erfahrungen. (Siehe auch die gesammelten Aufsätze über: „Strömungsforschung in der Atmosphäre“, Deutsche Forschung 1930, Heft 14.)

Für die Praxis gilt aber hier dasselbe, was zusammenfassend entsprechend schon zum Problem der Steiggeschwindigkeit gesagt wurde: Die im Einzelfall für die Struktur des Stromfeldes verantwortlichen Faktoren sind meist nicht kontrollierbar, ihr jeweiliger Einfluß ist qualitativ im allgemeinen nur unvollkommen, quantitativ noch weniger zu bestimmen.

Im Hinblick auf die Schwankungstendenz des Windes nennt F. Möller [32], [33]) die Pilotwindmessung zu genau und er meint hierzu, daß ein Verfahren, das den Wind etwa während 10 Minuten mittelnd mißt, sicher weniger willkürliche Abweichungen vom Gradientwind zeigen würde, dem er damit eine größere repräsentative Bedeutung beimißt. Er bezeichnet solche „Fehler“ durch die Neigung der Strömung zu Oszillationen als „reelle Augenblicksabweichungen vom zeitlichen Mittel“.

Bei Strömungsfelduntersuchungen nach statistischen Arbeitsmethoden fällt diese Eigenschaft nicht so störend ins Gewicht, als wenn — wie es die vorliegende Arbeit hauptsächlich erfordert — gerade dem Einzelfall eingehende Aufmerksamkeit zu schenken ist. Im ersten Falle werden bei vorzunehmenden Mittelwertsbildungen diese nach der positiven **und** der negativen Seite gerichteten „Augenblicksabweichungen“ sich selbst eliminieren und den interessierenden Mittelwert trotzdem herauskommen lassen. Bei unseren Materialauswertungen zur Feststellung des Gültigkeitsbereichs von Höhenwindmessungen war dagegen jeder einzelne Windmeßwert einer bestimmten Höhe mit dem entsprechenden Wert derselben Höhe an der Nachbarstation

zu vergleichen. Es ist klar, daß es dabei außerordentlich unangenehm ist, wenn man dem Einzelwert so wenig trauen kann.

Dieser Schwierigkeit ist leider in Ermangelung von geeigneterem Beobachtungsmaterial nicht aus dem Wege zu gehen. Es muß von Fall zu Fall versucht werden, die Möglichkeit des Vorhandenseins von in der Weise grob störenden Einflüssen zu beurteilen und den Einzelwert bestmöglich davon frei zu machen — etwa durch Vergleich mit den darunter- und darüberliegenden Höhenstufen —, falls ein solcher dann nicht überhaupt besser auszuschließen ist.

Am Ende dieser Arbeit sollen noch einige Bemerkungen darüber gebracht werden, in welcher Weise etwa Meßreihen zu gewinnen wären, bei denen die hier aufgeführten Übelstände sich teilweise vermeiden ließen.

Um noch einmal das Wesentliche dieses Abschnittes zu betonen: Wenn bei ungünstigen Voraussetzungen die repräsentative Geltung der hier verwendeten Meßwerte besonders beeinträchtigt ist, dann kommen dafür vor allem zwei Hauptursachen in Frage:

1. Beträchtliche Abweichungen von der bei der Visierung angenommenen Steiggeschwindigkeit;
2. Größere Augenblicksabweichungen des Windes vom zeitlichen Mittelwert.

V. Aufstellung von Vergleichsmaßstäben und Kennzeichnung der vorkommenden Abweichungen.

Um die **Vergleichsverhältnisse** innerhalb eines Stationsdreieckes zu prüfen, wurden jeweils die gleichzeitigen Höhenwindbeobachtungen von den drei Orten einander gegenübergestellt. Es wurde also stets innerhalb dreier Stationspaare verglichen, im nordwestdeutschen Dreieck:

Hamburg mit Hannover,
Hamburg mit Bremen und
Bremen mit Hannover;

im südostdeutschen Dreieck:

Breslau mit Gleiwitz,
Breslau mit Dresden und
Dresden mit Gleiwitz.

Dies geschah getrennt nach den einzelnen Höhenstufen und für Richtung und Geschwindigkeit gesondert. Z. B. wurden also die 3 Windstärkezahlen von Hamburg, Hannover und Bremen aus 500 m Höhe (3 Wertepaare) verglichen, danach dasselbe für 1000 m, 1500 m usw. — In der entsprechenden Weise wurde mit den Windrichtungsangaben verfahren. —

Im Falle eines in der Horizontalen völlig gleichförmigen Strömungsfeldes müßten in den einzelnen Höhenlagen alle drei Stationen gleiche Windrichtung und gleiche Windgeschwindigkeit aufweisen. In keinem der 3 Wertepaare gäbe es dann Differenzen. — Häufig werden aber in dem einen, in zweien oder in allen drei Wertepaaren pro Höhenlage mehr oder minder große Abweichungen, d. h. Unterschiede zwischen den jeweils einander gegenüber-

gestellten Zahlenangaben für Richtung und Geschwindigkeit vorkommen. — Je nach ihrer Anzahl, Größe und Verteilung bestimmen diese Abweichungen — sie werden im Verlauf dieser Arbeit auch mit „Störungen" bezeichnet — den Gleichförmigkeitsgrad des Strömungsfeldes zu dem betreffenden Termin.

Zunächst soll eine Klassifikation hinsichtlich der möglichen verschiedenen Größenordnungen der Störungen getroffen werden.

Für die **Windgeschwindigkeit** wurden dafür die Abweichungen als Prozent der mittleren Windgeschwindigkeit (aus dem großen und dem kleinen Wert) ausgedrückt.

Sind

v_1 u. v_2 die zu vergleichenden Windgeschwindigkeiten, so ist

$v_1 - v_2 = \triangle v$ ihre gegenseitige Abweichung, die in % der mittleren Geschwindigkeit

$v_m = \frac{v_1 + v_2}{2}$ ausgedrückt werden soll; also:

$$\text{Abweichung in } \% = \frac{\triangle v \cdot 100}{v_m}.$$

Zur Festlegung der verschiedenen Größenordnungen der vorkommenden Störungen wurden 5 Gruppen aufgestellt, wie die folgende Tabelle zeigt:

Gruppe	Zulässige Abweichungen um:
I	0— 25%
II	26— 50%
III	51—100%
IV	101—150%
V	>150%

Hierzu ist noch folgendes zu bemerken: Für geringe mittlere Geschwindigkeiten, für Wertepaare, bei denen kein Einzelwert 6 m/sec erreichte, wurde diese prozentuale Berechnung nicht eingehalten, und zwar deshalb nicht, weil die Wiedergabe-Ungenauigkeit bei den Meßzahlen, wenn es sich um kleine Werte der Windgeschwindigkeit handelt, zwar auch keine anormal großen absoluten Beträge annimmt, aber sich in ungewöhnlich hohen Prozentzahlen darstellt.

Ein Zahlenbeispiel möge dies erläutern: Eine Geschwindigkeitsdifferenz von 1 m/sec beträgt

a) bei $v_1 = 0$ m/sec
$v_2 = 1$ m/sec

von der dann geltenden mittl. Geschw. (0,5 m/sec)
200%,

b) bei $v_1 = 9$ m/sec
$v_2 = 10$ m/sec

rund 10% (von $v_m = 9{,}5$ m/sec).

Es ist klar, daß zwar 1 m/sec Unterschied bei schwachem Winde mehr bedeutet als bei starkem, doch dürfte dies nicht im Verhältnis 200 : 10 stehen, wie hier die Prozente ergeben.

Für Wertepaare, deren Geschwindigkeiten 5 m/sec nicht überschreiten, sind daher folgende kleinste Abweichungen angesetzt worden:

Gruppe	Zulässige Abweichungen um:
I	1 m/sec
II	2 „
III	3 „
IV	4 „
V	5 „

Für den Gebrauch wurde eine geeignete ausführliche Zahlentafel angelegt, aus der für alle vorkommenden Wertepaare die Abweichungsgruppe sofort zu entnehmen war. —

Die **Richtungsabweichungen** wurden nach folgender Einteilung eingestuft:

Gruppe	Zulässige Abweichungen um:
I	0— 2 WZ*)
II	3— 5 „
III	6— 8 „
IV	9—12 „
V	13—16 „

Dieser Maßstab gilt nicht für Bodenwinde mit Geschwindigkeiten $\leqq$ 3 m/sec; für diese wurde folgende Sonderregelung getroffen:

Für Bodenwindgeschwindigkeiten 2—3 m/sec:

Gruppe	Zulässige Abweichungen um:
I	0— 3 WZ
II	4— 7 „
III	8—11 „
IV	12—16 „

Für Bodenwindgeschwindigkeiten 0—1 m/sec:

I	0—12 WZ
II	13—16 „

Diese Zahlen wurden durch Multiplizieren des Normalmaßstabes mit den Faktoren 0,8 bzw. 0,2 erhalten. — Die Ausgleichsfaktoren wurden angebracht, weil ein zuverlässiges Ansprechen der Windfahnen gewöhnlich erst bei 3 bis 4 m/sec anzunehmen ist und weil daher die Wertigkeit der Richtungsangaben so schwacher Winde nicht derjenigen bei größeren Geschwindigkeiten gleichgesetzt werden darf. —

Die durch die Gruppen nach Größenordnung gekennzeichneten Abweichungen erhielten folgende Bezeichnungen:

*) Siehe Erklärung der Zeichen und Abkürzungen auf S. 80 f.

Gruppe	Bezeichnung
I	Übereinstimmung
II	kleine Störungen
III	mittlere Störungen
IV	große Störungen
V	sehr große Störungen

Fälle der **Stufe I**, in welcher die Abweichungen der geringsten Größenordnung bis zu völliger Übereinstimmung eingegliedert waren, wurden insgesamt als „Übereinstimmung" gerechnet.

Demnach sind für „Übereinstimmung" erlaubt:

bei der Windgeschwindigkeit Abweichungen bis zu 25%,
bei der Windrichtung Abweichungen bis zu 2 WZ
(unter Beachtung der angebrachten Korrektionen, siehe S. 18).

Diese Fehlergrenze dürfte unter Berücksichtigung dessen, was schon im Anfang (S. 11—16, insbesondere 15 unten, f.) über die repräsentative Geltung eines Höhenwindmeßwertes gesagt wurde, etwa dem Genauigkeitsgrad entsprechen, mit dem Pilotwindmessungen ausgeführt werden können.

In dem Material der vorliegenden Arbeit konnten zwar sehr wenig, aber doch auch solche Termine gefunden werden, bei welchen von den 54 zu vergleichenden Doppelwerten (siehe unten) 52, 53 oder auch alle 54 die durch Gruppe I definierte Übereinstimmung zeigten. Ein tatsächlich weitgehend gleichförmiges Stromfeld darf man in einem solchen Falle ohne weiteres annehmen; und es kann — wie man daraus ersieht — durch das Pilotmeßverfahren unter günstigen Umständen das Strömungsfeld wirklich mit einer Genauigkeit von 25% für die Windgeschwindigkeit und 2 WZ = $22\frac{1}{2}^0$ für die Windrichtung gemessen werden. — Von Zufall der Art, daß die Streuungen dann gerade einmal gleichgerichtet waren, kann hierbei natürlich nicht die Rede sein, handelt es sich doch immerhin um 54 zusammengehörige Wertepaare. Außerdem zeichnen sich solche Termine durch besonders regelmäßigen Verlauf der Meßwerte jeder Station in der Vertikalen aus. Reell ist also die ideal erfüllte Übereinstimmung dieser Fälle schon, aber sie sind so selten, daß sie für im allgemeinen zu erwartende Vergleichsverhältnisse keine Bedeutung haben und man bei ihnen in der Weise von Zufall sprechen muß, als das vollständige Fehlen der verschiedenen möglichen Störungsursachen zugleich für alle Stationen und alle Schichten eines Termines zufällig ist. —

Mit diesen Maßstäben (Gruppen I—V) wurden nun sämtliche tabellierten Höhenwindmessungen durchgearbeitet, d. h. die Größenordnung der Abweichungen innerhalb jedes Wertepaares festgestellt. — In jeder der 9 Höhenschichten gab es zwischen 3 Stationen 3 Vergleichsmöglichkeiten, damit sind also für jeden Termin die Abweichungen innerhalb von je 27 Wertepaaren für Richtung und Geschwindigkeit, mithin für insgesamt 54 Wertepaare festzustellen. — Die vorkommenden Störungen der Vergleichsverhältnisse wurden je nach ihrer Größe in geeigneter Weise verschieden markiert, so daß man einerseits beim Anschauen der drei Wertereihen eines Termines in den Tabellen

in bezug auf Anzahl, Größe und Verteilung der Störungen sofort einen Überblick über den Charakter des Stromfeldes an diesem Termin erhalten konnte, andererseits für spätere Einzeluntersuchungen damit das Material weitgehend zugänglich gemacht wurde.

B. HÄUFIGKEIT TYPISCHER VERGLEICHSVERHÄLTNISSE IN DER STRÖMUNG ÜBER DEN AUSGEWÄHLTEN BEZIRKEN.

I. Aufstellung von Hauptgruppen, entsprechend dem Vorkommen übereinstimmender und voneinander abweichender Vergleichswerte.

Bevor in eingehende Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Wetterlage und Strömungsfeld eingetreten wurde (im wesentlichen im zweiten Teil), sollte zunächst ein Überblick über die im Mittel vorkommenden Vergleichsverhältnisse gewonnen werden. Für diesen Zweck wurde eine Einteilung nötig, deren einzelne Gruppen sich zur Zusammenfassung gleichartiger Fälle eigneten. Wohlgemerkt, eine Zusammenfassung von ganzen Terminen mit vollständigen 3 Höhenwindmessungen mußte es sein. Dafür war der Gesamtcharakter jedes Termines möglichst eindeutig festzulegen, und für diesen sind die in den einzelnen Wertepaaren vorkommenden Abweichungen in ihrer Gesamtheit maßgebend. Da Richtung und Geschwindigkeit gesondert zu behandeln waren, kamen für jeden Termin — wie schon erwähnt*) — zwei mal 27, das sind 54 Wertepaare, in Frage. Deshalb ergaben sich an dieser Stelle erhebliche Schwierigkeiten, was verständlich wird, wenn man die zahllosen Möglichkeiten für das Zusammentreten der einzelnen Vergleichswerte bedenkt.

Nach vielen Versuchen wurde schließlich die im folgenden wiedergegebene Einteilung verwendet:

Einteilung der Termine mit gleichzeitigen Höhenwindmessungen**) nach dem dabei vorgefundenen Übereinstimmungsgrad.

a) Termine, gekennzeichnet durch vollkommene oder größtenteils gute Übereinstimmung.
   1. mit Üst***) in allen Höhen†), alle 3 Stationspaare.
   2. mit teilweiser Üst.
      α) Üst in bestimmten, sichtlich abgegrenzten Höhenbereichen; 3 Stationspaare.
      β) Üst in 1—2 Stationspaaren; alle Höhen.
      γ) Üst der Richtung oder Geschwindigkeit; 3 Stationspaare; alle Höhen.
      δ) Üst in 2 Stationspaaren; 50% aller Höhen, beisammenliegend.

b) Termine, gekennzeichnet durch an Zahl und Größe auffallende Störungen der Vergleichsverhältnisse.
   1. Erhebliche Stö*** in den meisten Höhen; innerhalb aller 3 Stationspaare.

---

*) Siehe S. 19 unten.

**) „Termin“: Siehe S. 9 unten.

***) Siehe Verzeichnis der Abkürzungen auf S. 80.

†) Vernachlässigt wird hierbei u. U. eine vereinzelt auftretende „kleine“ Störung (Richtg. 3—5 WZ, Geschw. 26—50%), insbesondere dann, wenn sie sich in nur einem Vergleichspaar bemerkbar macht ($1 \approx 2 \approx 3 \neq 1$).

2. Mit teilweise auftretenden Stö.
   α) Stö in bestimmten, sichtlich abgegrenzten Höhenbereichen; 3 Stationspaare.
   β) Stö in 2 Stationspaaren ($1 \neq 2 \neq 3 \approx 1$); alle Höhen.
   γ) Stö nur der Richt*) o d e r Geschw*); alle Höhen; 3 Stationspaare.
   δ) Stö (Richt und Geschw), verstreut auftretend bei etwa 50% aller Höhen; 3 Stationspaare.

c) Termine mit zwischenliegenden Vergleichsverhältnissen.
   α) Üst der Richt o d e r Geschw; alle Höhen; 1—2 Stationspaare; im übrigen nur mäßige Abw*).
   β) Üst der Richt o d e r Geschw; 3 Stationspaare; 50% aller Höhen; Üst-Höhen zusammenliegend.
   γ) Stö der Richt o d e r Geschw; alle Höhen; 1—2 Stationspaare.
   δ) Stö der Richt o d e r Geschw; 3 Stationspaare; 50% aller Höhen.
   ε) Mäßig große Stö, verstreut auftretend bei weniger als 50% aller Höhen; 3 Stationspaare.

Dieses Schema kennzeichnet ganz gut die Abweichungen nach Anzahl und Verteilung. Verschiedenheiten in ihrer Größe konnten nur allgemein berücksichtigt werden. Diese werden ja aber in der nachfolgenden Auswertung von Einzelfällen erfaßt.

II. Verteilung der tabellierten Termine auf diese Gruppen.

Bei der Verteilung der Termine nach obiger Aufstellung ist es nicht immer möglich, jeden Fall eindeutig einer Gruppe zuzuschreiben; z. B. zeigt ein mit (a b) bezeichneter Fall die unter a und b angegebenen Charaktere zugleich. Überhaupt weisen ja die unter den Gruppen mit teilweiser Übereinstimmung oder teilweisen Störungen verzeichneten Termine sowohl übereinstimmende als auch gestörte Schichten zugleich auf, so daß hier der Ausdruck „eindeutig" sowieso nur beschränkt gilt. Die Entscheidung ist dann entsprechend den vorherrschenden Vergleichsverhältnissen getroffen worden. Die Dezimalstellen bei der folgenden Tabelle kamen aus demselben Grunde dadurch zustande, daß Fälle zwei Gruppen zugleich zugeteilt werden mußten; um dabei das Auszählungsgleichgewicht zu erhalten, wurde die Wertigkeit solch eines Falles halbiert. Einige Termine mußten sogar über 3 Gruppen verteilt werden.

Die so vorgenommene Verteilung der 163 Termine aus dem nordwestdeutschen und der 52 Termine aus dem südostdeutschen Bezirk (siehe S. 10) zeigt folgendes Ergebnis:

Nordwestdeutscher Bezirk.

a			b			c		
Gruppe	Anzahl der Fälle	%	Gruppe	Anzahl der Fälle	%	Gruppe	Anzahl der Fälle	%
1	1,0	0,6	1	4,0	2,4	α	23,5	14,4
2α	22,7	13,9	2α	19,5	12,0	β	16,2	9,9
β	10,2	6,2	β	5,5	3,4	γ	1,5	0,9
γ	13,5	8,3	γ	1,0	0,6	δ	1,8	1,1
δ	2,7	1,6	δ	26,0	16,0	ε	14,0	8,6
Σ a	50,1	30,7	Σ b	56,0	34,4	Σ c	57,0	35,0

a + b + c = 163 (100%)

*) Siehe Verzeichnis der Abkürzungen auf S. 80.

Südostdeutscher Bezirk.

1	—	—	1	4,0	7,7	α	5,8	11,2
2α	4,8	9,3	2α	2,3	4,5	β	3,5	6,7
β	2,5	4,8	β	3,5	6,7	γ	1,0	1,9
γ	2,5	4,8	γ	1,5	2,9	δ	1,0	1,9
δ	—	—	δ	15,0	28,8	ε	4,5	8,6
Σ a	9,8	18,9	Σ b	26,3	50,6	Σ c	15,8	30,4

a + b + c = 52 (100%)

Betrachten wir zunächst das nordwestdeutsche Material:

Obgleich alle Gruppen irgendwie bedacht worden sind, heben sich doch einige durch besondere Besetzung hervor.

Das ausgeprägteste Maximum stellt die Gruppe **b2δ** dar: „Stö (Richt + Geschw), verstreut auftretend bei etwa 50% aller Höhen, 3 Stationspaare“ 16% aller Fälle. — Hierin drückt sich allem Anschein nach das im Abschnitt A, Seite 14 unten ff., über die Neigung der Strömung zu Oszillationen Gesagte aus. Mit je rd. 13% aller Fälle sind die Gruppen **a2α** und **b2α** besetzt: „Üst bzw. Stö in bestimmten, sichtlich abgegrenzten Höhenbereichen“. Es sind dies die Fälle, bei denen sich die Vergleichsverhältnisse mit der Höhe deutlich erkennbar ändern.

Die Gruppe **c** enthält ebenfalls ein Maximum (14%) **cα**: „Üst der Richt oder Geschw in allen Höhen bei 1—2 Stationen“.

Die 3 Hauptgruppen **a, b** und **c** sind ungefähr gleichmäßig mit je $^1/_3$ aller Fälle beteiligt. —

Anders beim südostdeutschen Bezirk:

Zwar ist die Lage der Maxima kaum anders als oben, jedoch kommt auf die Störungsuntergruppe **b2δ** fast die doppelte Prozentzahl wie im nordwestdeutschen Dreieck, nämlich 28%, und die gesamte Störungsgruppe **b** enthält die Hälfte aller Termine. — Die ungünstigere Lage der südostdeutschen Stationen zueinander kommt darin deutlich zum Ausdruck. —

Wenn man aus den hier mitgeteilten Zahlenwerten allgemein auf die Häufigkeit typischer Vergleichsverhältnisse in der Strömung über den ausgewählten Bezirken schließen will, darf — daran sei hier nochmal erinnert — nicht vergessen werden, daß durch die Art der Materialauswahl eine nicht geringe Einseitigkeit in unsere Untersuchungen hineingetragen wurde, worauf bereits oben bei der allgemeinen Charakterisierung der verwendeten Windmessungen aufmerksam gemacht wurde (S. 11 oben). Es kamen ja nur die Termine zur Verwendung, zu welchen an allen 3 Stationen eines Bezirkes gleichzeitige, hohe Aufstiege vorlagen — und zwar bis mindestens 5 bzw. 3 km hinaufreichend. Ausgeschlossen wurde ein Termin bereits dann, wenn nur an einem der 3 Pilotierungsorte die Visierung des Ballons vor Erreichung dieser Mindesthöhe abgebrochen worden war; und dies kommt in der Praxis sehr häufig vor.

Um einmal festzustellen, wie sich diese geforderte Gipfelhöhe auf die Anzahl der zur Verfügung stehenden Fälle auswirkt, wurde ermittelt, wieviel Fälle sich ergeben würden, wenn man die Auswahl ohne Rücksicht auf die erreichten Aufstiegshöhen nur unter Beachtung der zeitlichen Zusammengehörigkeit der Höhenwindmessungen vornähme. Dies geschah allerdings

nur für den 1½-jährigen Zeitraum vom Juli 1934 bis Dezember 1935, aus welchem die zur eingehenden Untersuchung herangezogenen Einzelfälle verwendet wurden (siehe den zweiten Teil), während den in den obigen beiden Tabellen mitgeteilten statistischen Zahlenangaben (163 bzw. 52 Termine, S. 21 unten, f.) das aus den 9½ Jahren vom Juni 1926 bis Dezember 1935 vorliegende Höhenwindmaterial zugrunde liegt.

Aus der Zeit Juli 1934 bis Dezember 1935 also gab es solcher Termine, bei denen gleichzeitig an den 3 Stationen eines Bezirkes (zugelassene Zeitspanne bis zu 3 Stunden) Höhenwindmessungen bis 5 bzw. 3 km Höhe (siehe S. 9 unten) vorlagen, für das nordwestdeutsche Stationsdreieck **25**, für das südostdeutsche **13** (S. 26 unten); läßt man dagegen diese Voraussetzung einer Mindesthöhe fallen, d. h. werden alle überhaupt gestarteten Ballone verwendet, so stehen sogleich **534 Fälle** aus dem Bezirk Hamburg, Hannover, Bremen und **185 Fälle** aus dem Bezirk Breslau, Dresden, Gleiwitz zur Verfügung.

Unsere „Termine" betragen also nur 4,7% bzw. 7,0% der Gesamtfälle.

Wenn sich — wie eben gesagt — diese Prozentzahlen auch nur auf das Material von 1½ Jahren beziehen, so ist nicht anzunehmen, daß die damit charakterisierten Verhältnisse, die hier nur größenordnungsmäßig abgeschätzt werden sollten, bei einer entsprechenden Auszählung der Höhenwindmessungen aus dem ganzen 10 jährigen Zeitintervalle — die sehr zeitraubend wäre — wesentlich verändert würden.

Als Ursache dafür, daß die Vermessung der aufgelassenen Pilotballone in sehr vielen Fällen frühzeitig abgebrochen wird, ist in erster Linie die Abhängigkeit des Verfahrens von den jeweiligen Sichtverhältnissen zu nennen, wovon bereits im ersten Abschnitt dieses Teiles (S. 11 oben) die Rede war und deren besondere Bedeutung für unser Material in den vorstehenden Zahlenangaben zum Ausdruck kommt. — Daneben kommt es allerdings im praktischen Wetterdienst auch vor, daß wegen Zeitmangels des Personals die Ballone, wenn sie die Strömung in den unteren Kilometern angezeigt haben, nicht weiter verfolgt werden.

Es war anzunehmen, daß die Verschiedenheiten der Vergleichsverhältnisse, die sich in den obigen Tabellen gut zu erkennen geben, mit entsprechenden Sonderheiten der allgemeinen Wetterlage im Zusammenhang stehen würden. Über die Arbeiten, die zur eingehenden Prüfung dieser Frage vorgenommen wurden, berichtet der zweite Teil.

Zweiter Teil.

DAS STRÖMUNGSFELD IN ABHÄNGIGKEIT VON DER WETTERLAGE.

UNTERSUCHUNGEN MIT DEM ZIEL, AUS DER HÖHENWETTERLAGE DIE URSACHEN FÜR DIE VERSCHIEDENEN VERGLEICHSVERHÄLTNISSE HERZULEITEN.

A. ARBEITSMETHODE ZUR AUFFINDUNG DER FÜR UNREGELMÄSSIGKEITEN IN DER HÖHENSTRÖMUNG VERANTWORTLICHEN FAKTOREN.

I. Gradientwind — tatsächlicher Wind.

Im Hinblick auf die unmittelbare Zusammengehörigkeit der Luftmassenversetzungen und der Druckverteilung mußte bei unseren Untersuchungen von Windströmungen die Prüfung der zugehörigen Wetterlagen in erster Linie in der Beachtung der jeweiligen Drucklage bestehen.

Beschleunigungslose Bewegungen vorausgesetzt, muß der aus Isobarenverlauf und -abstand berechnete „Gradientwind" tatsächlich in der Natur vorhanden sein, allerdings nur, wenn bei der Rechnung sonstige gegebenenfalls mitbestimmende Faktoren, wie Isobarenkrümmungen oder Reibungseinflüsse, entweder berücksichtigt oder die Voraussetzungen für ihre Mitwirkung ausgeschaltet wurden. Daß die Bedingung stationärer Verhältnisse öfters mehr oder minder unerfüllt bleibt, ist bekannt. Die Möglichkeit für Abweichungen der tatsächlichen Strömung vom Gradientwind ist damit also gegeben. Für die Praxis wäre es oft wichtig, über die möglichen Größenordnungen und über das Vorkommen solcher Unterschiede Näheres zu wissen, vor allem dann, wenn man ohne direkte Windmessungen aus dem Druckfeld auf die Windverteilung — und zwar in der Höhe — schließen will. Gerade in den letzten Jahren hat diese Frage zu zahlreichen Untersuchungen von der praktischen wie von der theoretischen Seite her Anlaß gegeben. Von einer eindeutigen Beantwortung, die allen in der Natur vorkommenden Voraussetzungen gerecht wird, scheinen wir aber noch weit entfernt zu sein.

Bei solchen Untersuchungen an der Hand des aerologischen Materials macht sich die mangelnde Genauigkeit, die den Meßwerten aus der freien Atmosphäre anhaftet, besonders störend bemerkbar. Z. B. müssen nach H. Berg für die Berechnung der Gradientwindgeschwindigkeit mit einer Fehlergrenze von $\pm$ 1 m/sec die Temperaturangaben für die Mittelwerte in der Schicht bis zur Höhe der 500-mb-Fläche auf $^1/_5{}^0$ genau sein, während es fraglich ist, ob diesen in der Praxis überhaupt eine Genauigkeit von $^1/_2{}^0$ zu-

gesprochen werden kann[4]). Und vergleichen wir den Gradientwind mit den Ergebnissen direkter Messung, dann ist dies durchaus noch keine Gegenüberstellung der berechneten und der tatsächlichen Strömung, weil — wie wir im ersten Teil gesehen haben — die repräsentative Bedeutung der durch Piloten gewonnenen Angaben auch nicht groß ist. Was dort über Möllers „Augenblicksabweichungen vom zeitlichen Mittelwert" bereits angeführt wurde, bringt auch Berg zum Ausdruck, indem er sagt, der Gradientwind würde weniger rasch überholt sein, als der mit Piloten direkt gemessene [16]).

Dies möge genügen zur Rechtfertigung der bei unserer Arbeit gemachten Annahme, daß durch das Druckfeld die Strömungsverhältnisse dargestellt werden, zumal wir ja daraus keine absoluten Windwerte ableiten, sondern nur auf den Gleichförmigkeitsgrad des Stromfeldes schließen wollten.

II. Über die vertikale Gültigkeit der Bodendruckkarten.

Das Problem der Berechnung des Windes interessiert — wie bereits gesagt — im allgemeinen nur für die Luftmassenversetzungen in der Höhe. Am Boden mißt man natürlich besser und einfacher direkt, schon wegen des stark veränderlichen Bodeneinflusses, es sei denn, man wolle gerade diesen bestimmen.

Den hier angestellten Versuchen gegenüber, für bestimmte Wetterlagen, d. h. Isobarenbilder, typische Vergleichsverhältnisse der Höhenwinde zu finden, zeigte sich das vorbereitete Material zunächst sehr verschlossen. Charakteristische Linien, jedenfalls ohne eine Anzahl nicht zu übersehender Widersprüche, wollten sich nicht zu erkennen geben, solange hierbei nur die Bodendruckkarte zu Rate gezogen wurde.

Dies liegt darin begründet, daß die Bodendruckverteilung sich häufig nach oben ändert, sei es, daß die barometrischen Zentren mit der Höhe verschoben sind, oder sei es, daß gar grundsätzliche Umgestaltungen vorliegen. — In dem Aufsatz: „Die Entstehung der im Täglichen Wetterbericht der Deutschen Seewarte veröffentlichten Höhenwetterkarten und deren Verwendung im Wetterdienst" [37]) gibt R. Scherhag dafür ein anschauliches Beispiel (vom 8. Febr. 1935). — P. Raethjen sieht die Bodenkarte bestenfalls als repräsentativ an für die untersten 1000 m [35]).

Von den **insgesamt 38 Tagen,** für die eine sehr detaillierte Bearbeitung der Wetterlagen auf Grund von je 3 Höhendruckkarten vorgenommen wurde und worüber im folgenden zu berichten ist, waren **bei 15 Fällen mehr oder minder auffällige Veränderungen der Drucklage mit der Höhe** festzustellen. Von den übrigen 23 Terminen war nicht bei allen das Gegenteil zu beobachten, d. h. nach oben gleichbleibendes Druckbild; vielmehr konnte bei verschiedenen von ihnen nichts in dieser Hinsicht ausgesagt werden, weil die Höhenisobaren mangels Meßwerten nicht sicher genug oder nur über einem kleinen Teil des Kartenbildes festzulegen waren.

Ein gutes Beispiel sei herausgegriffen: Die Bodenkarte des 4. Mai 1935 von 8 Uhr morgens zeigt*) ein ziemlich ausgedehntes Hochdruckgebiet

*) Die zu den angeführten Terminen gehörigen Druckkarten befinden sich chronologisch geordnet im Anhang.

mit dem Kern (1025 mb) teils über der nordwestlichen Ukraine, zum anderen Teil über dem südlichen Polen. Sein Einfluß reicht im Norden bis über den Finnischen Meerbusen hinaus, westlich bis nach Deutschland hinein. Das Nordwest-Dreieck kann man noch als an seinem Westabhang liegend ansehen. Die Isobaren nehmen hier allerdings gerade schon zyklonale Krümmung an, verursacht durch ein Tief mit Kern (1005 mb) vor dem westlichen Kanaleingang. — Wie die Höhenkarte der 900-mb-Fläche zeigt — in dieser ist nebenbei bemerkt nur Mitteleuropa enthalten — findet offenbar etwa bis zum 1000-m-Niveau noch keine wesentliche Veränderung statt. — In etwa 3000 m Höhe liegt plötzlich eine Hochdruckbrücke auf der Linie Schleswig/Holstein—Oberrhein, unser Dreieck mittendrin. Der hohe Druck im Osten scheint verschwunden zu sein und einem Tief Platz gemacht zu haben. — In etwa 5500 m Höhe befindet sich der hohe Druck im Südwesten vom Dreieck mit einem geschlossenen Kern über dem Taunusgebiet. Das Nordwestdreieck gelangt so vom Westabhang eines Bodenhochs zum Nordostabhang einer hohen Antizyklone. —

Wir werden uns im dritten Teil noch eingehender mit derartigen Erscheinungen zu befassen haben, wo der Versuch gemacht wird, Wege für die Beurteilung der Höhenwetterlage anzugeben, auch wenn regelrechte Höhenkarten dafür nicht vorhanden sind.

III. Anfertigung von Höhenkarten und Protokollen für die Termine.

Aus den im vorigen Abschnitt gemachten Feststellungen geht hervor, daß nur bei einer eingehenden Prüfung der jeweiligen Höhenwetterlage bzw. des Verlaufs der Bodendruckverteilung mit der Höhe zu hoffen war, in die zunächst so wenig einsichtigen Höhenwindverhältnisse den erstrebten Einblick zu erhalten.

Neben der Bodenwetterkarte waren für einen Termin möglichst mehrere Höhendruckkarten erwünscht, die sich auf die zu untersuchende Schicht vom Boden bis 5 km Höhe passend verteilen. Zu deren Anfertigung eignete sich am besten das aerologische Material, das die Deutsche Seewarte im täglichen Wetterbericht herausgibt; es werden dort die Höhen der Hauptisobarenflächen über den Orten mit täglichen Höhenaufstiegen fertig berechnet angegeben, woraus man unter Hinzuziehung der ebenfalls in den Hamburger Berichten veröffentlichten europäischen Höhenwindmessungen Druck- und Windkarten bis 5 km Höhe entwerfen kann. Diese Angaben bringt die Seewarte erst seit Juli 1934. Für die ausführliche Bearbeitung kamen also von den tabellierten Terminen nur diejenigen aus der Zeit vom 1. Juli 1934 bis zum 31. Dez. 1935 in Betracht. Das waren **25 Fälle im nordwestdeutschen, 13 im südostdeutschen** Dreieck.

Daß damit nur ein Teil des tabellierten Materials für die ausführlichen Untersuchungen herangezogen wurde, war kein besonderer Nachteil. Es hätte sowieso irgendeine Auswahl stattfinden müssen. Nach der Art der gestellten Aufgabe mußte es sich hier im wesentlichen um die Bearbeitung von Einzelfällen handeln, wobei man besser weniger Fälle, diese aber möglichst eingehend auswertet. Nur bei derartigen Sonderbetrachtungen ist es möglich, bis

zu einem gewissen Grade allen in Frage kommenden Einzelumständen Rechnung zu tragen. Die von den Terminen angefertigten Protokolle wurden immerhin derart ins einzelne gehend angelegt — es wird im folgenden darüber kurz berichtet — daß auch diese insgesamt 38 Einzelfälle für die Auswertung hinsichtlich der zugehörigen Wetterlagen einen ganz erheblichen Zeitaufwand erforderten.

Diese Ausarbeitung bestand in der Anfertigung von je 3 Höhendruckkarten und eines ausführlichen Protokolls. Zunächst zu den Höhenkarten: Zur synoptischen Darstellung des Druckes in der Höhe wird in der Praxis statt der Zeichnung von Isobaren in einer bestimmten Höhenlage die Darstellung der Höhenlinien der Hauptdruckflächen bevorzugt. Die Gründe, auf die wir hier nicht näher eingehen wollen, sind von R. Scherhag dargelegt worden[38]). Die hier benötigten Höhenkarten wurden ebenfalls auf diese Art angefertigt. Wenn man jeweils die synoptische Verteilung der Höhenlage von Hauptdruckflächen darstellt, ergeben sich wohlgemerkt keine „Höhendruckkarten" in immer genau demselben Niveau; doch sind die Schwankungen der Höhenlage der Druckflächen um den mittleren Wert im allgemeinen von der Größenordnung 100 m, also für unsere Höhenwinduntersuchungen kaum als störend zu bezeichnen. Es wurden jeweils die folgenden 3 Druckflächen, denen im Mittel die beigeschriebenen Höhen zukommen, zur Darstellung gebracht:

Luftdruck	Mittlere Höhe
900 mb	1000 m
700 „	3000 „
500 „	5500 „

Außerdem ist hierbei zu bemerken, daß die Höhen in den Druckkarten in dynamischen Metern angegeben sind (1 dyn.m = 1,02 m).

Die Art der Protokolle möge folgendes Schema andeuten:

Datum — **Wetterlage.**

Druck

Boden.

Allgemein: Barometrische Gebilde auf der Bodenwetterkarte.
Bezirk: Lage zu barometr. Gebilden / Isobarenverlauf / Form bzw. Gleichförmigkeit der Isobaren / Gefälle.

Höhe.

Allgemein: Verhalten mit der Höhe, eventuelle Veränderungen.
Bezirk: Verlauf der unter „Boden" aufgezählten Punkte, eventuelle Veränderungen.

Strömung

Charakterisierung der Strömung über jeder Station an Hand der Höhenwindmessungen, zunächst für Richt und Geschw getrennt, danach Kennzeichnung des Strömungstypus über der betr. Station, Feststellung etwa vorhandener Schichtungen u. dgl.

Vergleichsverhältnisse.

Herausstellung der augenfälligen Übereinstimmungs- sowie Störungsschichten. Untersuchungen über die Ursachen, welche die gefundenen Vergleichsverhältnisse erklären können.

Zusammenfassung.

Gesamtwitterungscharakter des behandelten Termines / Betrachtungen darüber, wieweit sich aus Bodenbeobachtungen (Bodenwetterkarte, Isallobarenkarten, Wolkenbeobachtungen . . .) und einer Pilotwindmessung die vorgefundenen Verhältnisse erkennen lassen würden.

Die Anfertigung eines solchen Protokolles geschah an Hand der Bodenwetterkarten von einigen Tagen vor bis etwa einen Tag nach dem betreffenden Termin, der zu diesem Tage gezeichneten Höhenkarten und der im Bezirk vorliegenden Wolkenbeobachtungen. In dem obigen Schema unter „Zusammenfassung" sind Betrachtungen darüber angegeben, wieweit ohne Höhenwetterkarten die Verhältnisse in der Höhe zu erkennen gewesen wären. Dies gehört zum dritten Teil und wird dort noch besonders besprochen.

Um zunächst einen Überblick über die zur eingehenden Auswertung herangezogenen Fälle zu geben, sind diese in der folgenden Tabelle mit Datum, Zeit der Aufstiege und „typischen Vergleichsverhältnissen" (siehe S. 20 f.) aufgeführt. Wie schon oben gesagt (S. 21), müssen Termine, bei denen gleichzeitig gestörte wie relativ ungestörte Schichten vorhanden sind, auf zwei der Hauptgruppen (a, b, c) verteilt werden. — Z. B. zeigt ein Termin „$^1/_3$ a, $^2/_3$ b" in $^1/_3$ der ganzen Schicht Boden bis

Termine vom 1. Juli 1934 bis zum 31. Dez. 1935, ihre Zuordnung zu den Übereinstimmungsgrad-Gruppen (siehe S. 111).

Nordwest-Dreieck.

Lfd. Nr.	Datum	Aufstiegszeiten			Gruppen		
		Hbg	Hv	Brm	a	b	c
1	11. 7. 1934	11h	12h	13h	a2α		
2	18. 7.	8	7	6		b2δ	
3	21. 7.	8	7	6	½ a2α	½ b2α	
4	31. 7.	15	12	13			cα
5	22. 8.	9	12	13			cβ
6	24. 8.	8	7	6	a2α/2, γ/2		
7	3. 9.	8	7	7		½ b2α	½ cβ
8	4. 9.	12	12	13		b2δ	
9	8. 9.	8	10	7		b2δ	
10	11. 9.	14	15	13	½ a2α	½ b2α	
11	13. 9.	8	7	7	½ a2β		½ cβ
12	14. 9.	9	7	7	½ a2β	½ b2β	
13	5. 3. 1935	14	12	13		½ b2α	½ cβ
14	7. 3.	11	8	8	½ a2α	½ b2α	
15	14. 3.	9	8	8	a2β/2, γ/2		
16	15. 3.	15	13	13	a2γ		
17	16. 3.	9	8	8	⅔ a2δ	⅓ b2α	
18	4. 5.	12	14	13	½ a2δ	½ b2α	
19	6. 5.	12	14	13		b2δ	
20	10. 5.	7	5	7		b2δ	
21	29. 5.	7	4	7		b2δ	
22	10. 6.	9	8	7	a2α/2, γ/2		
23	23. 6.	8	11	8	a2α/2, γ/2		
24	1. 7.	7	5	7		⅓ b2α	⅓ cα, ⅓ cβ
25	14. 10.	9	8	7			cα

Südost-Dreieck.

Lfd. Nr.	Datum	Aufstiegszeiten			Gruppen		
		Dr	Brl	Gl	a	b	c
1	6. 7. 1934	6^h	9^h	9^h	$a2\beta/_2\ \gamma/_2$		
2	19. 7.	6	7	9		b1	
3	8. 8.	10	7	9	$\frac{1}{2}$ a2α	$\frac{1}{2}$ b2α	
4	13. 9.	13	14	16	a2α		
5	14. 9.	10	11	11	a2β		
6	9. 5. 1935	17	13	17		$\frac{1}{2}$ b2δ	$\frac{1}{2}$ cα
7	10. 5.	8	7	8		b2δ	
8	24. 5.	16	13	14		$\frac{1}{2}$ b2β	$\frac{1}{2}$ cα
9	14. 6.	14	13	14		$\frac{1}{2}$ b2δ	$\frac{1}{2}$ cβ
10	18. 6.	7	7	8		b2δ	
11	9. 8.	13	14	14		$\frac{1}{2}$ b2δ	$\frac{1}{2}$ cα
12	2. 9.	14	14	13		$\frac{1}{2}$ b2δ	$\frac{1}{2}$ cα
13	3. 9.	13	13	14		$\frac{1}{2}$ b2δ	$\frac{1}{2}$ cβ

5 km Übereinstimmung, in den anderen $^2/_3$ Störungen. — Auch gleichzeitige Besetzung der Untergruppen ist manchmal möglich (z. B. Nordwest-Dreieck; 14. März 1935).

Was bereits aus der Tabelle auf Seite 21 f. hervorging, fällt auch wieder bei den ausgewählten Terminen in der obigen Zusammenstellung auf: Die Vergleichsverhältnisse sind oft in den verschiedenen Höhenlagen desselben Termins verschieden. Auf Grund der Bodenkarte ist in solchen Fällen eine Erklärung für die Stromfeldsonderheiten, vor allem für die höheren Lagen, nicht möglich. In den folgenden beiden Abschnitten B und C soll darüber berichtet werden, was sich in dieser Hinsicht bei der Hinzuziehung der Höhenkarten ergab.

B. ÜBERSICHT ÜBER DIE BEI DER AUSARBEITUNG DER HÖHENWETTERLAGEN GEMACHTEN FESTSTELLUNGEN.

Im Verlauf der eingehenden Untersuchungen, wie sie die Ausarbeitung der beschriebenen Protokolle unter Zuhilfenahme der zuvor gezeichneten Höhenkarten für jeden Termin mit sich brachte, zeigte sich, daß die gefundenen übereinstimmenden wie auch gestörten Werte durchaus nicht so willkürlich auftraten, wie es zuerst erscheinen mußte.

Es konnte vielmehr tatsächlich in der überwiegenden Mehrzahl aller verglichenen Werte — in qualitativer Hinsicht jedenfalls — die jeweilige Erklärung im Verlauf der Isobaren, aber der Isobaren in der betreffenden Höhenlage, gefunden werden.

Allerdings blieb auch eine gewisse Anzahl von Sonderheiten der Meßwerte eine befriedigende Erklärung schuldig; wenn nicht überhaupt ungenügende Höhenkarten infolge mangelhafter Meldungen aus der freien Atmosphäre die Analyse unmöglich machten, kommen dabei fehlerhafte Höhenwindangaben oder falsch gezeichnete Druckkarten in Betracht. Überhaupt ist zu sagen, daß die mangelhafte Genauigkeit und Zuverlässigkeit des Einzelwertes, wovon bereits im ersten Teil (S. 11 ff.) gesprochen wurde, hauptsächlich

für die Herausstellung quantitativer Ergebnisse sich als besonders hinderlich erwies.

Die Voraussetzungen, die für Störungen der Gleichförmigkeit des Stromfeldes verantwortlich zu machen sind, können etwa wie folgt zusammengestellt werden; außer IV und in gewisser Weise auch außer II beziehen sie sich direkt auf die Lage des Bezirkes zu den barometrischen Gebilden der Druckverteilungskarten:

I. Kernlage oder -nähe.
II. Flaches Druckgefälle (Schwachwindigkeit).
III. Enge Isobarenkrümmungen und -knicke.
IV. Sprungschichten.
V. Unterschiedliche Lage und Entfernung der Stationen zu den Zentren barometrischer Gebilde.

Es sollte nun jeder dieser Witterungsfaktoren für sich in bezug auf seine Wirksamkeit und seinen quantitativen Einfluß geprüft werden. Die Schwierigkeit bei den meisten meteorologischen Aufgaben, darin bestehend, daß spezielle Annahmen in der Wirklichkeit nie rein, sondern immer miteinander gekoppelt auftreten, machte sich auch hierbei sehr störend bemerkbar. Von obigen 5 möglichen Hauptvoraussetzungen werden oft zwei oder mehr zugleich zutreffen. So gut es ging, mußten für die beabsichtigten Einzeluntersuchungen Fälle mit möglichst eindeutigen und übersichtlichen Bedingungen herausgesucht werden. Auch war darauf zu achten, daß sich nicht andere Störungsmöglichkeiten einmischten, die mit der Wetterlage selbst nichts zu tun haben. Von fehlerhaften Werten abgesehen, ist da vor allem der möglicherweise verschiedene Einfluß des Bodens sowie eine eventuell störende Auswirkung der zugelassenen Spanne zwischen den Aufstiegszeiten zu nennen. Deshalb wurden die Windmeßwerte unterhalb 1000 m und nötigenfalls auch die 1000-m-Werte selbst mit Vorsicht ausgewertet sowie die Termine mit den kleinsten zeitlichen Aufstiegsdifferenzen bevorzugt.

Es soll nunmehr über die Untersuchungen berichtet werden, die zur Prüfung eines jeden der oben zusammengestellten 5 Faktoren vorgenommen wurden.

C. EINZELUNTERSUCHUNGEN DER STÖRUNGSURSACHEN.

I. Kernlage oder -nähe.

Teilübersicht:

a) Einfluß auf die Vergleichsverhältnisse.
b) Verschiedene Arten von Kerngebilden in bezug auf die Begünstigung von Richtungsstörungen (S. 31).
c) Zusammenfassung (S. 34).

a) Einfluß auf die Vergleichsverhältnisse.

Befindet sich der Bezirk mit den zu vergleichenden Windmeßstationen nahe dem Zentrum einer Zyklone oder Antizyklone oder in demselben selbst,

dann entstehen **Störungen in der Windrichtung,** bedingt durch die unterschiedliche Isobarenrichtung. Dies wirkt sich am stärksten aus bei ausgesprochener Kernlage, wenn zwei zu vergleichende Stationen etwa beiderseits einer Windscheide liegen, wobei gegenseitige Windrichtungsabweichungen bis zu 16 WZ (180°) vorkommen können. Kleinere Störungen der Richtung treten bei Kernnähe auf.

Quantitative Angaben über im Mittel vorkommende Störungsverhältnisse wären zwecklos, die Entstehung dieser Abweichungen ist sinngemäß klar, sie entsprechen direkt den jeweiligen Isobarenkrümmungen, sind daher in jedem Einzelfall verschieden.

Anmerkung: Diese unmittelbar vom großzügigen Isobarenverlauf der Wetterkarte abzulesenden Richtungsabweichungen zwischen den Stationen sind nicht zu verwechseln mit solchen, die bei der häufig weitläufigflachen Druckverteilung in Kerngebieten infolge lokaler Druckzufälligkeiten entstehen und — im Isobarenverlauf nicht sichtbar — meist nicht zu kontrollieren sind. Dies stellt schon eine Übergangsform dar zu: „Flaches Druckgefälle", worüber im Abschnitt II, Seite 34 ff. berichtet wird.

Störungen der Geschwindigkeit infolge grundsätzlicher Gradientunterschiede sind für die eigentlichen Kerngebilde, wo im allgemeinen gleichmäßig flache Druckverteilung herrscht, nicht typisch. — Soweit es sich dabei um den Übergang vom inneren Teil zum Rand eines barometrischen Gebildes handelt, wird über die dann möglichen Geschwindigkeitsänderungen im Abschnitt V, „Unterschiedliche Lage usw.", gesprochen werden. Der Abschnitt II dagegen bezieht sich auf diejenigen Abweichungen zwischen den Geschwindigkeitsangaben, welche durch die mehr oder minder stets vorhandene Tendenz des Windes zu Oszillationen entstehen.

b) Verschiedene Arten von Kerngebilden in bezug auf die Begünstigung von Richtungsstörungen.

Es sind dabei im wesentlichen zu unterscheiden: rundorientierte und länglich orientierte Kerngebilde. Die ersteren stellen normalerweise die Hauptdruckgebilde dar, die letzteren die sekundären Erscheinungen im Druckbild.

Die sekundären Isobarentypen können hier folgend eingeteilt werden:

1. Hochdruckrücken, Keil, Zwischenhoch.
2. Sattelformen.
3. Tiefdruckfurche.

(1. und 2. Divergenzlinien, 3. Konvergenzlinien.)

Richtungsstörungen bei rund orientierten Kerngebilden:

am größten bei Kernlage,
kleiner bei Kernnähe, dann entsprechend der Isobarenkrümmung.

Richtungsstörungen bei länglichen Kerngebilden:

nur auftretend bei Kernlage, Windscheide im Dreieck selbst;
nicht auftretend bei Kernnähe, infolge des geradlinigen Isobarenver-

laufs, dann vielmehr als Randlage zum benachbarten Hauptdruckgebilde (Strömungszentrum) zu betrachten*).

Für die im folgenden anzuführenden Beispiele ist die oben entwickelte Einteilung zur Übersicht verwendet worden:

Rund orientierte Kerngebilde.

Zu erwarten: Richt-Stö**) bei Kern l a g e.
NW-Bezirk; 6. Mai 1935, 3 km (Beispiel 1).
Zu erwarten: Richt-Stö bei Kern n ä h e.
NW-Bezirk; 6. Mai 1935, 5 km (Beispiel 2).

Längliche Kerngebilde.

1. H-Rücken, H-Keil, Zwisch-H.

Zu erwarten: Richt-Stö bei Kern l a g e.
NW-Bezirk; 4. Mai 1935, 3 km (Beispiel 3).
Zu erwarten: ca. Üst bei Kern n ä h e.
NW-Bezirk; 3. Sept. 1934, 1 km (3 km) (Beispiel 4).

2. Sattelformen.

Zu erwarten: Richt-Stö bei Kern l a g e.
SE-Bezirk; 19. Juli 1934, 1 km, 3 km (Beispiel 5).
(Zu erwarten: ca. Üst bei Kern n ä h e.)
— — —

3. T-Furchen.

Zu erwarten: Richt-Stö bei Kern l a g e.
NW-Bezirk; 5. März 1935
Zu erwarten: ca. Üst bei Kern n ä h e
NW-Bezirk; 5. März 1935
} 1—5 km (Beispiel 6)

Beispiel 1 und 2***)†), 6. Mai 1935 — NW-Dreieck.

	2000	2500	3000	4000	5000	(6000)	
Hb (12h)	19 2	23 2	25 4	25 6	24 8	(26) (9)	WZ m/sec
Hv (14h)	10. 5	9: 2	2. 1	25 3	24 5	(24) (5)	WZ m/sec
Brm (13h)	20. 1	24: 1	27‖ 1	27 1	26 5	(24) (8)	WZ m/sec

ca. 3 km: Größte Richt-Stö bis Gruppe V;
ca. 5,5 km: Nur (kl.) Richt-Stö bis Gruppe I, da schon Übergang zu Abschnitt II.

*) Zur Beurteilung, in welchem Wirkungsbereich das Dreieck liegt, prüfen: 1. Himmelszustand (Wolkenart), 2. Art der Isobarenkrümmung (zyklonal oder antizyklonal).

**) Siehe Abkürzungen auf S. 80.

***) Siehe Zeichenerklärung auf S. 80 f.

†) Die zum Vergleich notwendigen Höhenkarten befinden sich chronologisch geordnet im Anhang (S. 83 ff.).

Beispiel 3, 4. Mai 1935 — NW-Dreieck.

	2000	2500	3000	4000	
Hb (12h)	11 3	8| 4	2. 4	32. 6	WZ m/sec
Hv (14h)	10 4	8 5	5| 4	3| 4	WZ m/sec
Brm (13h)	11 5	11| 5	11‖ 3	8| 1	WZ m/sec

ca. 3 km: Richt-Stö bis IV.

Beispiel 4, 3. Sept. 1934 — NW-Dreieck.

	500	1000	1500	2000	
Hb (8h)	16 5	18 6	19 6	16 6	WZ m/sec
Hv (7h)	15 6	17 5	17 5	18 4	WZ m/sec
Brm (7h)	17 8	17 9	18 10	17 10	WZ m/sec

ca. 1 km: Richt-Stö < 3 WZ $\approx$ Üst (Gruppe I).

Beispiel 5, 19. Juli 1934 — SE-Dreieck.

	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	
Brl (7h)	14: 4	15: 1	0 0	0 0	0 0	0 0	— —	WZ m/sec
Dr (6h)	18| 7	21‖ 4	18 4	20 3	21 3	25 3	26 5	WZ m/sec
Gl (9h)	31: 2	1. 7	2: 4	1: 4	1. 5	30| 2	— —	WZ m/sec

ca. 1 u. 3 km: Richt-Stö bis IV—V, weil Windscheide direkt durch den Bezirk verlaufend.

Beispiel 6, 5. März 1935 — NW-Dreieck.

	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	
Hb (14h)	13 6	15 4	16| 4	21‖ 2	30 2	30 4	30 5	29 5	WZ m/sec
Hv (12h)	13 6	12| 2	15 1	31. 2	32 4	30 8	31 5	31 8	WZ m/sec
Brm (13h)	13 7	14 7	19| 3	28| 3	30 4	30 5	30 6	29 8	WZ m/sec

ca. 1,5—2 km: Kernlage, ergibt Richt-Stö I—IV.
unter 1,5 km: } Kernnähe, ergibt annähernd Üst.
über 2 km: }

Bei diesen angeführten Beispielen (1—6) treten keine wirklichen Widersprüche zu den zuvor (S. 31) zusammengestellten Untersuchungsergebnissen auf. Es muß dazu betont werden, daß die Auswahl der Beispiele keineswegs danach geschah, wie sie den zu „erwartenden Vergleichsverhältnissen" entsprachen, sondern nach den vorausgesetzten typischen Drucklagen.

c) Zusammenfassung.

Die Abweichungen zwischen den Windrichtungswerten der einzelnen Stationen innerhalb der Höhenschichten sind unmittelbar abhängig von entsprechenden Unterschieden im Isobarenverlauf. Die verschiedenartigen Vergleichsverhältnisse im Bereich von rundorientierten Kerngebilden einerseits, länglich orientierten andererseits stehen mit diesen in gut erkennbarem Zusammenhang. Die letzteren sind mitunter nichts anderes als eine mehr oder weniger schroffe Windscheide zwischen zwei nebeneinander aber entgegengesetzt wehenden Luftströmen, von denen jeder einem anderen Hauptströmungszentrum angehört. Bei dem Beispiel 4 (3. Sept. 1934) ist dies der Fall.

Über die bei der Windgeschwindigkeit auftretenden Vergleichsverhältnisse wird noch im Abschnitt V: „Unterschiedliche Lage usw." und außerdem im folgenden Abschnitt II berichtet werden, der sich mit der auch in Kerngebieten oft vorhandenen allgemeinen Schwachwindigkeit befaßt.

II. Flaches Druckgefälle.

Teilübersicht:

a) Allgemeine Feststellungen über den Einfluß auf die Vergleichsverhältnisse.

b) Untersuchung über die Abhängigkeit der von Schwankungen verursachten Abweichungen von der Windgeschwindigkeit (Statistische Auswertung der Pilotmeßreihen) (S. 35).

c) Verschiedene Arten von Schwachwindigkeit, Zusammenhang mit der allgemeinen Wetterlage (S. 41).

d) Über die Größe der auftretenden Schwankungen im Einzelpilot und der dadurch verursachten Störungen der Vergleichsverhältnisse (S. 43).

a) Allgemeine Feststellungen über den Einfluß auf die Vergleichsverhältnisse.

Im Verlaufe der zu dieser Arbeit vorgenommenen vergleichenden Untersuchungen fiel immer wieder auf, daß gerade bei kleinen Windgeschwindigkeiten viele und relativ große Abweichungen zwischen den gegenübergestellten Richtungs- wie Geschwindigkeitswerten vorkamen. Und zwar zeichnen sich diese Störungen gewöhnlich dadurch aus, daß sie recht unregelmäßig auftreten, unregelmäßig hinsichtlich Vorzeichen, Verteilung und Größe. Wenn z. B. die Windrichtung am Ort A in einer bestimmten Höhe um 5 WZ rechtsgedreht ist gegen die entsprechende am Ort B, so kann in der darüberliegenden Höhe eine ebenfalls beträchtliche Drehung, aber im entgegengesetzten Sinne, festgestellt werden, während die nächstfolgende Höhenlage vielleicht völlige Übereinstimmung zwischen den zwei Stationen zeigt.

Diese gegenseitigen Abweichungen zwischen benachbarten Stationen unterscheiden sich ganz wesentlich von den im vorigen Abschnitt behandelten, wo für die Windrichtung innerhalb bestimmter Höhenintervalle ganz bestimmte und annähernd gleichbleibende Vergleichsverhältnisse angetroffen wurden, wie etwa bei Lage von zwei Stationen beiderseits einer Windscheide.

Bei der Betrachtung der zu den Schwachwindmessungen gehörigen Wetterlagen erkennt man die bei Gebieten mit flacher Druckverteilung typischen Unregelmäßigkeiten des Isobarenverlaufs. Es sind aber in diesen Fällen bei weitem nicht alle vorkommenden Strömungsunregelmäßigkeiten mit solchen aus der Wetterkarte ersichtlichen Besonderheiten der Isobaren unmittelbar zu erklären. Die vornehmlich bei allgemeiner Schwachwindigkeit beobachteten regellosen Abweichungen sind gegeben durch die Schwankungen der Windmeßwerte im vertikalen Verlauf bei der einzelnen Station, sie scheinen durch kleine und kleinste Isobarenunstetigkeiten hervorgerufen zu sein, die in unseren Druckkarten gar nicht mehr zur Abbildung gelangen. Es handelt sich hier offensichtlich um die Auswirkung der schon besprochenen Neigung des Windes zu Oszillationen, die anscheinend bei Luftmassen, welche unter relativ geringem Druckgefälle stehen, besonders stark zur Geltung kommt.

b) Untersuchungen über die Abhängigkeit der von Schwankungen verursachten Abweichungen von der Windgeschwindigkeit.

Um die Frage genauer zu prüfen, ob sich — wie vermutet — die Schwankungstendenz vornehmlich bei Schwachwindigkeit bemerkbar macht und in welcher Weise sich dies auf die mittleren Vergleichsverhältnisse auswirkt, wurden dem gesamten tabellierten Höhenwindmaterial aus der Zeit 1926 bis 1935 die geeigneten Pilotmeßreihen entnommen und einer besonderen, im folgenden kurz zu beschreibenden Auswertung unterzogen. Wie bereits oben gesagt, ergeben sich die verstreut und regellos auftretenden Abweichungen innerhalb der einzelnen Wertepaare dadurch, daß die Meßwerte bei der einzelnen Station in der Vertikalen unregelmäßig und schwankend verlaufen.

In der vorgenommenen Sonderuntersuchung wurde diese Streuung der einzelnen Meßwerte um den gleichförmigen mittleren Verlauf des Windes festgestellt, und zwar zwecks Herausstellung etwa vorhandener grundsätzlicher Unterschiede einmal für Schwachwindaufstiege und zum anderen für die in lebhafter Luftbewegung ausgeführten Höhenwindmessungen.

Um die Möglichkeit zusätzlicher Bodenbeeinflussung auszuschließen, wurden die Höhenstufen unterhalb 1500 m von dieser Auswertung ausgeschlossen, also nur das Verhalten des Windes innerhalb der Schicht 1500 bis 5000 m geprüft. — Es kam dafür nur das Material aus dem nordwestdeutschen Stationsdreieck zur Verwendung, wobei es sich ja durchweg um Aufstiege bis mindestens 5000 m handelt, während die tabellierten Windmessungen von den südostdeutschen Stationen nur bis 3000 m regelmäßig reichen.

Als „Fälle mit Schwachwindigkeit“ galten solche, bei denen die mittlere Windgeschwindigkeit in den 6 Höhenstufen 1500, 2000, 2500, 3000, 4000 und 5000 m nicht größer als 3 m/sec und dabei kein Einzel-

wert größer als 6 m/sec war. Für Zuteilung eines Aufstieges zur Starkwindgruppe war Voraussetzung, daß in allen 6 Höhenstufen mindestens 10 m/sec Geschwindigkeit verzeichnet war.

Von dem tabellierten Beobachtungsmaterial aus den Jahren 1926—1935 standen aus dem nordwestdeutschen Bezirk für die

Schwachwindgruppe 27, für die
Starkwindgruppe 45 Einzelaufstiege zur Verfügung.

Um Mißverständnissen vorzubeugen, sei nochmals betont, daß es sich bei dieser Auswertung nicht um vergleichende Untersuchungen der drei zugleich in einem Stationsdreieck vorgenommenen Aufstiege handelt (in solchen Fällen sprechen wir in dieser Abhandlung von „Terminen"); es kommt uns vielmehr darauf an, über der einzelnen Station das Verhalten des Windes in der Vertikalen — man kann auch sagen: die Neigung zu Sprüngen in Richtung und Geschwindigkeit — festzustellen.

Als Maß für die Streuung innerhalb einer Folge von Meßwerten können die Abweichungen angesehen werden, die jeweils zwischen zwei übereinanderliegenden Windmeßwerten bestehen. Aber es ist dabei zu berücksichtigen, daß derart auftretende Abweichungen keinesfalls immer durch Streuung allein verursacht sein müssen. Im vertikalen Verlauf der Meßwerte ergeben sich außerdem Differenzen dann, wenn mit der Höhe eine mehr oder minder stetige allgemeine Änderung des Windes infolge entsprechender Veränderungen in der Druckverteilung vorliegt. — Um bei unserer Auswertung die Mitzählung solcher Differenzen, die mit Streuung nichts zu tun haben, so gut wie möglich zu vermeiden, wurden die Abweichungen nicht ohne weiteres mit ihren absoluten Beträgen verwendet, vielmehr wurde durch Berücksichtigung der Vorzeichen zuerst die mittlere Änderung ermittelt, welche für den ausgeglichenen Verlauf der Meßwertreihe wahrscheinlich gelten wird.

Wie die Auswertung eines Aufstieges im einzelnen erfolgte, wird sich am besten an einem schematisierten Beispiel erläutern lassen: Eine Pilotwindmessung möge die in der Tabelle zusammengestellten Werte ergeben haben:

Höhenstufen	1500	2000	2500	3000	4000	5000	
Windricht . . .	24	22	25	23	26	24	WZ
Windgeschw . .	1	3	1	3	5	5	m/sec

Die Auswertung wurde derart vorgenommen, wie sie im folgenden zunächst für die Geschwindigkeit durchgeführt wird.

1. Bilden der Differenzen zwischen je zwei übereinanderliegenden Höhenstufen (d. h. innerhalb der Schichten).

   Vorzeichen positiv, wenn Geschwindigkeit zunehmend, bzw. Richtung rechtsdrehend;

   Vorzeichen negativ, wenn Geschwindigkeit abnehmend, bzw. Richtung linksdrehend.

In unserem Beispiel:

Schichten	1500—2000	2000—2500	2500—3000	3000—4000	4000—5000
Differenzen	2	—2	2	2	0

2. Aus (1) Feststellen der mittleren Änderung pro Schicht (innerhalb des Gesamtintervalles 1,5—5,0 km).

   $\Sigma\triangle_{1,5-5\text{ km}} = 4$ m/sec (Vorzeichen zu berücksichtigen).

   Die mittlere Änderung pro Schicht beträgt in diesem Falle

   $\triangle_{\text{m pro 1 Schicht}} = 4 : 5 = 0{,}8$ m/sec, d. h. bei ausgeglichenem Verlauf der Meßreihe nimmt die Geschwindigkeit mit der Höhe gleichmäßig um 0,8 m/sec pro Höhenstufe zu.

3. Abweichungen der Einzeländerungen von der mittleren Änderung [nach (2)], dies entspricht der Streuung der Einzelwerte um den stetigen mittleren Verlauf.

   Die obigen Differenzen (1) unterscheiden sich von $\triangle_m = 0{,}8$ m/sec um folgende absolute Beträge:

   $\triangle - \triangle_m$: 1,2 2,8 1,2 1,2 0,8 m/sec.

4. Mittlere Streuung, ausgedrückt durch die mittleren Abweichungen der Einzeldifferenzen von der einer Schicht im Mittel zukommenden Änderung.

   Aus $\frac{\Sigma(\triangle - \triangle_m)}{5} = \frac{7{,}2}{5}$ [siehe (3)] erhält man als Mittelwert für den Streuungscharakter der untersuchten Windmessung in bezug auf die Windgeschwindigkeit:

   1,44 m/sec pro Höhenschicht.

   Verfährt man in entsprechender Weise mit den Werten der Windrichtung, so ergibt sich dafür der Wert:

   2,4 WZ pro Höhenschicht.

Es ist noch zu bemerken, daß die Reihe der Windrichtungswerte bei unserem Beispiel einen Sonderfall darstellt insofern, als die Summe der Differenzen 0 wird:

$\Sigma\triangle_{1,5-5,0\text{ km}} = 0$ WZ, damit auch

$\triangle_{\text{m pro 1 Schicht}} = 0$ WZ, d. h. der ausgeglichene Verlauf der Meßreihe ergäbe in allen Höhen die Richtung 24 WZ, also durchweg W-Wind.

Veranschaulicht man sich diese Verhältnisse wie folgt graphisch (s. Abb. III), so ist zu erkennen, daß beim Diagramm, welches den Verlauf der Windrichtung mit der Höhe darstellt, die Differenzen zwischen den zueinander gehörigen Werten allein durch die Schwankungen der Einzelwerte (Streuung) um den ausgeglichenen Verlauf (strichpunktierte Linie) gegeben sind. Dagegen sind die gegenseitigen Differenzen zwischen den Geschwindigkeitswerten außerdem von der allgemeinen stetigen Windzunahme mit der Höhe abhängig (strichpunktierte Linie geneigt). — Die von der ausgezogenen, mehrfach geknickten und der durchgelegten strichpunktierten Linie begrenzten schraffierten Flächenstücke sind mit ihrer Gesamtgröße proportional dem Streuungsgrad innerhalb der untersuchten Wertefolge.

Zur Anwendung dieses Verfahrens sind noch einige Bemerkungen zu machen: Die Annahme, daß stetige Windänderungen mit der Höhe immer linear erfolgen, wird — genau genommen — nicht immer zutreffen. Wir

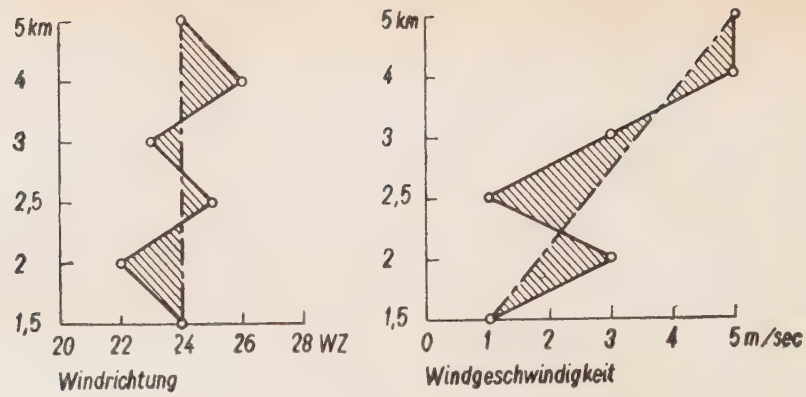


Abb. III.

stellen aber an diese Mittelwertsbildungen nicht so große Anforderungen in bezug auf die Genauigkeit, daß durch diese Vernachlässigung störend falsche Ergebnisse zu erwarten wären. Daher wurde auch davon abgesehen, die ungleichen Schichtdicken innerhalb des untersuchten Höhenintervalles von 1,5—5 km besonders zu berücksichtigen (1,5—3 km 3 Schichten 500 m dick, 3—5 km 2 Schichten je 1000 m dick). Solche Aufstiege jedoch, bei denen zwischen 1,5 und 5 km offensichtlich Sprungschichten lagen, wurden zu dieser Auswertung nicht mit herangezogen.

Über die erhaltenen Ergebnisse sei mittels der folgenden Angaben kurz berichtet:

Anzahl der ausgewählten Fälle.

Für Schwachwindigkeit
(mittl. Geschw. $v_m \leqq 3$ m/sec; max. 6 m/sec) . . . . . 27 Aufstiege

Für Starkwindigkeit
(Geschw. jeder Meßstufe $v \geqq 10$ m/sec) . . . . . 45 „

Jeder Aufstieg enthält im Höhenintervall 1,5—5,0 km 6 Meßwerte, d. h. 5 Vergleichspaare; demnach ergeben sich

für Schwachwindigkeit 135 Wertepaare
für Starkwindigkeit 225 „

Als „mittlerer Streuungswert pro Vergleichspaar“ [nach Definition S. 55, unter (4)] ergibt sich:

Für Schwachwindigkeit
Richt $3{,}2_0$ WZ
Geschw $1{,}1_8$ m/sec
bei mittl. Geschw $2{,}6_4$ m/sec

Für Starkwindigkeit
Richt $0{,}8_7$ WZ
Geschw $1{,}6_4$ m/sec
bei mittl. Geschw $14{,}4_7$ m/sec

Außerdem wurde festgestellt, wie sich die Einzelwerte um ihren Mittelwert gruppieren:

Schwachwindigkeit

Richt: (mittlere Streuung $3{,}2_0$ WZ).

≦	3,2 WZ	85	Vergleichspaare	= 63,0%	aller Vergleichspaare
≧	3,3 „	50	„	= 37,0%	„ „
≦	1 „	33	„	= 24,4%	„ „
≧	5 „	27	„	= 20,0%	„ „
≧	10 „	8	„	= 5,2%	„ „

Maxima: 14,6 WZ (5. April 1934; Bremen)
13,2 WZ (2. März 1934; Hannover)

Geschw: (mittlere Streuung $1{,}1_8$ m/sec).

≦	1,2 m/sec	86	Vergleichspaare	= 63,7%	aller Vergleichspaare
≧	1,3 „	49	„	= 36,3%	„ „
≦	0,5 „	31	„	= 23,0%	„ „
≧	3 „	8	„	= 5,9%	„ „
≧	4 „	1	„	= 0,7%	„ „
≧	5(-6) „	0	„	= 0 %	„ „

Starkwindigkeit

Richt: (mittlere Streuung $0{,}8_7$ WZ).

≦	0,9 WZ	152	Vergleichspaare	= 67,6%	aller Vergleichspaare
≧	1,0 „	73	„	= 32,4%	„ „
≧	3 „	7	„	= 3,1%	„ „
≧	5 „	2	„	= 0,9%	„ „
≧	10 „	0	„	= 0 %	„ „

Geschw: (mittlere Streuung $1{,}6_4$ m/sec).

≦	1,6 m/sec	136	Vergleichspaare	= 60,4%	aller Vergleichspaare
≧	1,7 „	89	„	= 39,6%	„ „
≧	3 „	37	„	= 16,4%	„ „
≧	4 „	22	„	= 9,8%	„ „
≧	5 „	9	„	= 4,0%	„ „

Maxima: 9,2 m/sec (13. Febr. 1934; Hannover)
6,4 m/sec (7. Aug. 1929; Hannover und Bremen).

Zusammenfassung der Ergebnisse: Überblickt man die so gewonnenen Ergebnisse, so erkennt man sehr deutlich den unterschiedlichen Schwankungscharakter der bei schwachwindiger Witterung einerseits und der in lebhafter Luftbewegung vorgenommenen Visierungen andererseits.

Am augenfälligsten zeigt diesen Unterschied die Richtungsauswertung: Wenn sich bei Schwachwindaufstiegen zwei übereinanderliegende Werte innerhalb einer Meßreihe im Mittel um **3,2** unterscheiden, so beträgt diese mittlere Differenz bei Starkwindmeßreihen nur **0,9 WZ.**

Bei der Geschwindigkeit sind diese Abweichungen für die beiden Gruppen zwar in m/sec einander etwa gleich, drückt man diese aber in % der zugehörigen mittleren Geschwindigkeit aus, so beträgt der mittlere Unterschied

zwischen 2 Schwachwindwerten 44,7%, dagegen
zwischen 2 Starkwindwerten nur 11,3% von den entsprechenden mittleren Geschwindigkeiten ($2{,}6_4$ m/sec bzw. $14{,}4_7$ m/sec).

Die Einzelwerte drängen sich in allen 4 Gruppen (Richt und Geschw bei Stark- und Schwachwindigkeit) ziemlich dicht um die gefundenen mittleren Zahlen. Doch kommt der im Hauptergebnis festgestellte Unterschied zwischen Schwach- und Starkwindmessungen auch bei den größeren Abweichungswerten deutlich zum Ausdruck: Richtungsabweichungen $\geqq 5$ WZ finden sich noch bei 20% aller Schwachwindvergleichspaare, dagegen bei nur 1% der verglichenen Starkwindmeßwerte; und die größten Abweichungen betrugen bei den ersteren bis über 14 WZ, dagegen erreichten sie bei den letzteren in keinem Fall 10 WZ. — In entsprechender Weise zeigen auch die größeren Geschwindigkeitsabweichungen diese aufgeführten unterschiedlichen Verhältnisse.

Wir kommen weiter unten auf die gewonnenen Zahlenwerte nochmals zurück, wo die infolge „Schwachwindigkeit" bedingten Störungen der Vergleichsverhältnisse innerhalb eines Bezirkes besprochen werden. —

Nachdem somit durch die beschriebenen Mittelwertsbildungen die bei schwachen Winden offensichtlich verstärkte Schwankungstendenz der Strömung in ihrem vertikalen Verlauf deutlich herausgestellt werden konnte, ist dabei die Frage von Interesse, welche Geschwindigkeiten in diesem Sinne noch zur „Schwachwindigkeit" gerechnet werden müssen, und insbesondere auch, in welcher Weise der Übergang von unserem Schwachwindstromfeld zur mehr ausgeglichenen Strömung bei stärkeren Winden erfolgt.

So soll ja in den unteren Luftschichten — wie man auf Grund von Beobachtungen annimmt — diejenige Turbulenz, welche durch die Bodenreibung an der Grenzfläche zwischen Erdboden und der darüber hinströmenden Luft entsteht, bei einer kritischen Windgeschwindigkeit, die W. Georgii bei 11—12 m/sec annimmt, eine plötzliche Zunahme erfahren[25]). (Siehe dazu auch: H. v. Ficker: „Temperaturdifferenz zwischen freier Atmosphäre und Berggipfeln"[21]).) Aus der Strömungslehre ist die Bedeutung solcher kritischen Geschwindigkeiten (Reynoldssche Zahl) für diskontinuierliche Änderungen des Strömungszustandes ja schon länger bekannt. — Es wäre daher denkbar, daß es für die bei schwacher Luftbewegung besonders auftretenden Strömungsunregelmäßigkeiten in der freien Atmosphäre ebenfalls einen mehr oder minder ausgeprägten Schwellenwert der Geschwindigkeit gäbe.

Eingehendere Untersuchungen wurden in dieser Richtung im Rahmen vorliegender Arbeit nicht angestellt; hierzu dürfte schon das hier verwandte Material kaum geeignet sein. — Überhaupt ist unser Wissen vom inneren Gefüge des Windes in der Atmosphäre immer noch sehr mangelhaft. Der Windkanal, der für den Flugzeugbau die unbedingt erforderlichen empirischen Grundlagen liefert, kann uns zu einer befriedigenden Erforschung der Vorgänge in der Atmosphäre nicht verhelfen, weil im Laboratorium die komplizierten Voraussetzungen nicht hergestellt werden können, welche — es handelt sich dabei vor allem um die thermischen Schichtungen — den Aufbau des Luftmeeres ausmachen und die Vorgänge in der freien Atmosphäre maßgebend beeinflussen.

Soweit sich nach dem Durcharbeiten der zu dieser Arbeit verwendeten Höhenwindmessungen hierüber gewisse Aussagen machen lassen, scheint tatsächlich eine solche obere Geschwindigkeitsgrenze für „störende Schwachwindigkeit" vorhanden zu sein:

Die festgestellte verstärkte Schwankungstendenz bei schwachen Winden tritt auf bei Geschwindigkeiten bis zu 4 m/sec, während Meßreihen mit Geschwindigkeitswerten von 5—6 m/sec schon auffallend gleichförmig verlaufen, insbesondere die Richtungsangaben.

Hier würde demnach mit zunehmender Windstärke die Strömung gleichförmiger und gerichteter, während sich die von der Bodenreibung verursachte Luftunruhe in den unteren Schichten, welche wir zum Vergleich bezüglich der kritischen Geschwindigkeitsgrenze herangezogen hatten, bei Übergang zu größeren Geschwindigkeiten gerade umgekehrt verhält, nämlich unvermittelt zunimmt. Ein Widerspruch braucht hier nicht vorzuliegen. Ohne den Versuch einer wissenschaftlichen Erklärung zu dieser Frage unternehmen zu wollen, möchte Verfasser darauf hinweisen, daß es sich dabei wahrscheinlich um zwei verschiedene Arten der Luftunruhe handelt: Im ersten Falle um erzwungene Turbulenz, dynamisch durch die Bodenreibung verursacht — im zweiten um Oszillationen in der freien Atmosphäre, die meist thermisch bedingt sein dürften. (Siehe hierzu auch F. M. Exner, Dynamische Meteorologie, 2. Aufl., S. 128.) Die Strömungsunregelmäßigkeiten werden dabei stets mit kleinen und unregelmäßigen Druckschwankungen einhergehen. — Schließlich sei in diesem Zusammenhang auch an die mit unserer Feststellung im Einklang stehende bekannte Erscheinung erinnert, daß beim Fehlen stärkerer Luftdruckgegensätze in der Großwetterlage das sonst mehr oder weniger überdeckte Kleinwettergeschehen erst augenfällig zur Auswirkung kommt.

c) Verschiedene Arten von Schwachwindigkeit, Zusammenhang mit der allgemeinen Wetterlage.

Beim Prüfen der zu schwachen Höhenwinden gehörigen Wetterlagen ließen sich für letztere 3 Hauptgruppen herausstellen:

1. Allgemeine Schwachwindigkeit über großen Teilen des Wetterkartenbildes, daraus resultierend zahlreiche kleine Kerngebilde mit entsprechend regellos verlaufenden Isobaren. Gewöhnlich handelt es sich dabei um Schwachwindschichten von größerer vertikaler Mächtigkeit. — Beispiel 1; 18. Juli 1934 — NW-Dreieck*).

Störungen der Vergleichsverhältnisse treten auf:

*) Die hier angegebenen Beispiele sollen vornehmlich nur zur Veranschaulichung der mitgeteilten typischen Wetterlagen dienen; eine ausführliche Auswertung der Vergleichsverhältnisse erfolgt hier nicht. — Die von den betreffenden Terminen vorliegenden Höhenwindmessungen sind im Anschluß an diese Aufstellung auf S. 42f. zusammengestellt, während die zugehörigen Druckkarten im Anhang zu finden sind.

α) Durch verstärkte Schwankungstendenz bei Schwachwindigkeit; Abweichungen regellos und im Isobarenbild nicht unmittelbar zu erkennen (nach Abschnitt b).

β) Sekundär durch Unregelmäßigkeiten des Isobarenverlaufs und des horizontalen Druckgradienten; Abweichungen je nach Genauigkeit der Isobarenzeichnung mehr oder weniger deutlich im Druckbild erkennbar, nicht typisch allein für Schwachwindigkeit, besonders behandelt bei „Enge Isobarenkrümmungen" (III), „Unterschiedliche Lage und Entfernung der Stationen zu den Zentren barometrischer Gebilde" (V).

2. Schwachwindigkeit nur sekundär bei Sprungschichten, gewöhnlich nur dünne Schwachwindschichten eingebettet in stärker bewegten Luftströmungen; in den Isobarenkarten meist nicht unmittelbar zu erkennen. — Beispiel 2; 5. März 1935 — NW-Dreieck (vgl. auch Abschnitt IV: „Sprungschichten").

3. Schwachwindigkeit infolge Lage des Bezirkes in Kerngebieten mit weitläufig flachem Druckgefälle; wie bei (1) handelt es sich hierbei ebenfalls meist um Schwachwindschichten von größerer Dicke. — Beispiel 3; 1. Juli 1935 — NW-Dreieck, 3—5 km.

Störungen der Vergleichsverhältnisse ähnlich wie bei (1):

α) Durch verstärkte Schwankungstendenz, Ursache kleine und kleinste Druckunregelmäßigkeiten, in den Isobarenkarten nicht erkennbar.

β) Durch Neigung der Isobaren zu größeren Unregelmäßigkeiten, wie aus den Wetterkarten für den Bereich von Kerngebieten bekannt (letzteres gilt insbesondere für Antizyklonen). (Siehe hierzu auch den Abschnitt I: „Kernlage oder -nähe" auf S. 30 ff.)

Höhenwindmessungen zu den oben angeführten Beispielen*):

Beispiel 1, 18. Juli 1934 — NW-Dreieck.

	Boden	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000
Hb	12	14	16	16	22‖	19	18	19‖	18
(8h)	3	7	2	3	2	1	3	4	5
	=	—	=	—				=	—
Hv	10	13	12|	12|	12.	11‖	16	19	23|
(7h)	1	7	6	6	3	3	4	4	3
	—		=	—		—			—
Brm	12	13	14	15|	16|	18‖	17	13‖	20|
(6h)	8	10	7	5	2	2	3	1	3
		—						=	

Beispiel 2, 5. März 1935 — NW-Dreieck (siehe S. 33).

*) Siehe Zeichenerklärung auf S. 80 f.

Beispiel 3, 1. Juli 1935 — NW-Dreieck, 3—5 km.

	2500	3000	4000	5000	(6000)	
Hb (7h)	8| 5	6. 5	2|| 3	5| 3	(32.) (4)	WZ m/sec
Hv (5h)	10 6	5 3	7| 5	24: 2	(27|) (3)	WZ m/sec
Brm (7h)	12 8	15. 5	10| 5	8: 3	(11:) (1)	WZ m/sec

d) Über die Größe der auftretenden Schwankungen im Einzelpilot und der dadurch verursachten Störungen der Vergleichsverhältnisse.

Die in diesem Kapitel II „Flaches Druckgefälle (Schwachwindigkeit)" beschriebenen Untersuchungen galten denjenigen Differenzen zwischen zu vergleichenden Werten, welche hervorgerufen werden durch die bei Schwachwindigkeit verstärkt auftretende Neigung der Strömung zu Oszillationen.

Gemäß der Natur solcher Schwankungen sind die damit verbundenen Abweichungen wechselnd gerichtet und von verschiedener Größe, sie treten regellos auf. Daher ist für den Einzelwert weder Diagnose noch Prognose anhand von vorhandenen Druckkarten möglich. Hinsichtlich des Gültigkeitsbereichs von solchen Höhenwindmeßreihen, die mehr oder weniger dicke Schwachwindschichten anzeigen, ist also immer mit unbestimmten Störungen der Vergleichsverhältnisse zu rechnen.

Über die Windgeschwindigkeiten, die man in dieser Hinsicht noch zur Schwachwindigkeit zu rechnen hat, ist in Abschnitt (b) dieses Kapitels, S. 40 f. berichtet worden. Danach sind Windstärken von 3—4 m/sec noch als schwachwindig zu bezeichnen.

Aus den ebenfalls im Abschnitt (b) festgestellten mittleren Streuungswerten kann die Größenordnung der möglichen, im Mittel zu erwartenden Abweichungen zwischen zwei zu vergleichenden Windmeßwerten abgeleitet werden; dies soll im folgenden geschehen:

Für die Streuung der Richtungswerte bei Schwachwindigkeit ergab sich

im Mittel 3,2 WZ,

d. h. der Verlauf eines Aufstieges allein schwankt im Mittel um ± 3,2 WZ.

Es kann demnach:
1 Einzelaufstieg Richt-Stö nach Gruppe II (3—5 WZ)*) verursachen.

Diese Differenz kann sich verdoppeln, wenn 2 zu vergleichende Werte zufällig in entgegengesetzter Richtung „streuen", so daß sich:
gegebenenfalls Richt-Stö im Mittel nach Gruppe III (6—8 WZ) ergeben können.

*) Siehe S. 18.

Größere Streuwerte von:
$\geqq 5$ WZ kamen vor bei 20 % aller Schwachwindfälle; diese könnten:
Stö nach Gruppe II (3—5 WZ) bis zu Gruppe IV (9—12 WZ) verursachen.

Wenn man die für stärkere Winde ermittelten Verhältnisse (siehe ebenfalls S. 38—40) als normal ansieht, so würde die „normale Richtungsstreuung“

im Mittel 0,9 WZ

betragen, also auch bei Doppelwirkung nur Abweichungen nach Gruppe I (0—2 WZ = Üst) verursachen. Streuwerte $\geqq 5$ WZ kommen kaum bei 1 % aller Starkwindfälle vor.

Für die Streuung der Geschwindigkeitswerte bei Schwachwindigkeit ergab sich

im Mittel 45%

der mittleren Windgeschwindigkeit (2,6 m/sec); d. h. der Verlauf eines Aufstieges allein schwankt im Mittel um $\pm$ 45% pro Höhenstufe.

Es kann demnach:
1 Einzelaufstieg Geschw-Stö nach Gruppe II (26—50%)*) verursachen;
und bei Verdoppelung dieser Differenz zwischen zwei entgegengesetzt streuenden Werten sind mittlere Geschw-Stö nach Gruppe III (51—100%) möglich.

Größere Streuwerte von:
$\geqq 3$ m/sec = 115 % der mittleren Geschwindigkeit kamen vor bei 6 % aller Fälle, sie können Stö nach Gruppe III (51—100 %)*) bis Gruppe IV (> 150 %) bewirken.

Die bei stärkeren Windgeschwindigkeiten gefundenen Verhältnisse würden eine „normale Geschwindigkeitsstreuung“ von

im Mittel 11%

der mittleren Geschwindigkeit (14,5 m/sec) ergeben; auch im Falle der Verdoppelung entständen nur Abweichungen nach Gruppe I (0—25 % = Üst). Streuwerte, die bei Doppelwirkung mindestens Abweichungen nach Gruppe II (26—50 %) verursachen, kamen nur bei 16 % aller Fälle vor (Streuwert $\pm$ ($\geqq$) 3 m/sec = ca. $\pm$ 21%, d. i. bei Verdoppelung ca. 42% der mittleren Geschwindigkeit 14,5 m/sec).

Im allgemeinen werden die Fälle, bei denen allein die verstärkte Schwankungstendenz nur langsam bewegter Luftmassen als Störungsursache gegeben ist, selten sein; oft treten mehrere der Voraussetzungen zusammen, die Abweichungen zwischen Höhenwindmessungen an benachbarten Windmeßorten verursachen, und bestimmen insgesamt den jeweiligen Charakter der Vergleichsverhältnisse.

Bevor dieses Kapitel abgeschlossen wird, sei in diesem Zusammenhang noch an das erinnert, was im ersten Teil (S. 15 f.) über „Augenblicksabwei-

*) Unter Berücksichtigung der Korrektion für kleine Windgeschwindigkeiten (S. 17 f.).

chungen vom zeitlichen Mittelwert“ angeführt wurde: Das dort bereits zur repräsentativen Bedeutung des Einzelwertes im allgemeinen Gesagte gilt für unsere Schwachwindwerte im verstärkten Maße. Man wird z. B. einzelnen Höhenwindangaben, wie sie etwa in den Messungen vom 1. Juli 1935 für die oberen Schichten vorliegen (Beispiel 3 auf S. 43), kaum oder nur mit Vorsicht irgendeine räumliche oder zeitliche Gültigkeit zusprechen können.

Für die allgemeinen Luftmassenbewegungen innerhalb solcher Schwachwindschichten dürfte der so gut wie möglich ausgeglichene Verlauf derartiger Meßreihen repräsentativer sein als die unmittelbar der Auswertung entstammenden Einzelwerte.

Wurden im vorstehenden Strömungsunregelmäßigkeiten behandelt, zu denen gewöhnlich entsprechende Unstetigkeiten im Druckbild direkt nicht zu erkennen waren, so befaßt sich das folgende Kapitel mit solchen Abweichungen zwischen benachbarten Stationen, die zu den auf der Wetterkarte vorhandenen mehr oder minder starken Isobarenkrümmungen gehören.

III. Enge Isobarenkrümmungen und Knicke.

Teilübersicht:

a) Allgemeines über den Einfluß gekrümmter Isobaren auf die Vergleichsverhältnisse (Richt-Stö).

b) Charakterisierung der Störungen verursachenden Isobarenkrümmungen hinsichtlich Zugehörigkeit zu den Grundformen der Druckkarten (S. 46).

c) Zusammenfassung (S. 50).

a) Allgemeines über den Einfluß gekrümmter Isobaren auf die Vergleichsverhältnisse (Richt-Stö).

In diesem Abschnitt sollen diejenigen **Störungen der Richtung** charakterisiert werden, welche dadurch entstehen, daß die Isobarenrichtung an den benachbarten Meßorten verschieden ist, daß also innerhalb des untersuchten Bezirkes Isobarenkrümmungen mit verhältnismäßig engem Radius vorliegen.

Die für die Belange der Praxis meist gestattete Annahme, daß der Gradientwind gleich dem tatsächlichen Wind zu setzen ist, sollte — wie anfangs schon gesagt (siehe S. 24 f.) — auch für unsere vergleichenden Untersuchungen zugrunde gelegt werden.

Dann ist der Unterschied in der Windrichtung zwischen 2 Stationen durch den Winkel gegeben, der von den beiden an den Isobarenverlauf jedes Ortes angelegten Tangenten gebildet wird. Nimmt man an, daß zwei Orte mit bestimmter gegenseitiger Entfernung auf einer annähernd kreisförmig gekrümmten Isobare liegen, so ist die Differenz der Isobarenrichtungen umgekehrt proportional dem Krümmungsradius der Isobare.

Die folgende Tabelle gibt die Krümmungsradien an, bei denen Richtungsstörungen von den Größenordnungen I—V (siehe S. 18 Mitte) entstehen, für Stationen, welche 100 km, 200 km und 300 km voneinander entfernt sind:

Richt-Abweichungen		Stationsabstand		
		100 km	200 km	300 km
WZ	Gruppe	Krümmungsradien in km		
0	I	∞	∞	∞
2		256	512	768
3	II	172	344	516
5		106	212	318
6	III	90	180	270
8		71	142	213
9	IV	65	130	195
12		54	108	162
13	V	52	104	156
16		50	100	150

Man sieht u. a., daß für Entfernungen von der Größenordnung 100 km, wie sie unseren Untersuchungen zugrunde gelegt werden sollten, bei Krümmungsradien von ca. 170 km ab die ersten als Störungen geltenden Abweichungen (3 WZ : Gruppe II) zustande kommen. Für Stationen, die voneinander 200 km entfernt sind, liegt dieser Grenzwert bei ca. 340 km und für solche, die 300 km Abstand voneinander haben, bei ca. 520 km. Größte Störungen (Gruppe V) kommen natürlich bei den kleinsten Krümmungsradien vor, d. h. wenn sich der zu untersuchende Bezirk nahe den Zentren barometrischer Gebilde befindet, worüber bereits in Abschnitt I: „Kernlage oder -nähe" gesprochen wurde. Außerdem sind natürlich auch enge Krümmungen von Isobaren möglich, bei denen es sich nicht um Kerngebiete geschlossener barometrischer Gebilde handelt.

Für die hinsichtlich der Zugehörigkeit zu typischen Wetterlagen verschiedenen Isobarenformen mit mehr oder weniger großen Abweichungen vom geradlinigen Verlauf soll anschließend eine allgemeine Einteilung gebracht werden, soweit eine solche bei der Mannigfaltigkeit der vorkommenden Druckverteilungen möglich ist.

b) Charakterisierung der Störungen verursachenden Isobarenkrümmungen hinsichtlich Zugehörigkeit zu den Grundformen der Druckkarten.

Bei der Prüfung der zu den vorgefundenen Vergleichsverhältnissen gehörigen Druckverteilungskarten ließ sich folgendes unterscheiden:

1. Isobarenkrümmungen von kleinerem Krümmungsradius im Wirkungsfeld größerer Druckgebilde.
2. Sonstige Isobarendeformationen, die nicht als selbständige barometrische Gebilde (mit geschlossenen Isobaren) angesehen werden können.

Zu 1.:

Hierbei handelt es sich um die normalen Isobarenkrümmungen im Bereich von Zyklonen und Antizyklonen.

Über die Größe der dabei möglichen Richtungsstörungen siehe obige Tabelle auf Seite 46. — Beispiel 1 siehe unten.

Zu 2.:

Diese sekundären Erscheinungen im Druckbild mögen hier wie folgt unterteilt werden:

α) V-förmige zyklonale Ausbuchtungen bis Knicke. — Sie gehören gewöhnlich zu im Nordwesten liegenden Tiefs, um welche als Mittelpunkt schwenkend Störungslinien über Deutschland ostwärts bis nordostwärts ziehen. Diese Störungslinien enthalten fast stets mehr oder weniger schroffe Luftmassengrenzen (Konvergenzlinien) und tragen dann häufig Frontcharakter (Übergang zu „Sprungschichten", Kapitel IV, S. 50 ff.).

Fast immer handelt es sich bei diesen V-förmigen zyklonalen Störungen um typische Schlechtwetterlagen, bei denen Wolken höhere Piloten nicht zulassen. Unter den protokollierten Terminen, bei denen ja hohe Aufstiege gleichzeitig an allen Stationen eines Bezirkes gefordert waren, fanden sich daher auch keine Fälle, die für diesen Witterungstyp beispielhaft und der Wiedergabe wert gewesen wären.

β) Kleinere Tiefausläufer und Hochkeile, „Isobarenzungen". — Beispiel 2 (S. 48). Auch die von der Bodenkonfiguration verursachten Deformationen im Isobarenfeld wie z. B. bei Föhnlage im Alpengebiet.

γ) Unregelmäßige Störungen des Isobarenverlaufs, wozu beim Fehlen stärkerer Luftdruckgegensätze Neigung besteht, insbesondere in Gebieten ohne einheitliche Luftbewegungen (Übergang zu „Schwachwindigkeit", Kapitel II, S. 34 ff.). Beispiel 3 (S. 49).

δ) Wellenförmiger Verlauf von im ganzen geradlinigen Isobaren[36, 5]) (siehe auch S. 15). Dafür scheint vor allem dann Neigung zu bestehen, wenn zwei verschiedenartige Luftmassen nebeneinander herströmen*). Beispiel 4 (S. 49).

Anschließend seien kurz einige Beispielfälle mitgeteilt, die zur Veranschaulichung der störungsbedingenden Isobarenformen, wie oben eingeteilt, dienen sollen.

Beispiel 1**)***) zu ‚1', Seite 46, 9. Mai 1935 — SE-Dreieck.

	500	1000	1500	2000	2500	3000	
Brl	5	7	7	9	7	6	WZ
(13h)	8	8	5	13	16	14	m/sec
Dr	8	8	9	8	8	8	WZ
(17h)	3	5	7	9	7	5	m/sec
Gl	6	6	6	8	5	3	WZ
(17h)	5	5	5	5	7	7	m/sec

*) Werden solche Einzelheiten in der Isobarenführung aber — wie das oft geschieht — hauptsächlich nach den vorliegenden Windrichtungsangaben gezeichnet, dann ist uns damit für die Strömungsuntersuchung natürlich nicht gedient.

**) Siehe Zeichenerklärung auf S. 80 f.

***) Die zugehörigen Druckkarten befinden sich zeitlich geordnet im Anhang.

Lage des Bezirkes am SE-Abhang des H im NW. JV nach NW konkav gekrümmt (antizykl.). Entfernungsricht. Brl—Dr und Gl—Dr annähernd J-Richt; Brl—Gl bildet größeren Winkel mit J-Richt.

Die Richt-Unterschiede entsprechen dem verschiedenen JV an den einzelnen Stationen; für Brl—Dr bleiben sie von der Größenordnung I*) (noch Üst), außer der 500-m-Stufe. — Gl dreht in den oberen Schichten auch im Vergleich zu Brl relativ stark zurück, was reell zu sein scheint (Gl 4 km: N-Wind) und Abweichungen II (kl. Stö) ergibt. Deutung schwierig, da Höhen-JV in der Gegend von Gl bereits sehr unsicher.

Sonstige Bemerkungen: Die Geschwindigkeitswerte sollen hier nicht besonders diskutiert werden (darüber allgemein im Abschnitt V: „Unterschiedliche Lage usw."). — Der Aufstieg in Brl wurde 4 Stunden eher als die beiden anderen ausgeführt. Vielleicht stehen damit die bedeutend größeren Geschwindigkeiten von Brl im Zusammenhang (Abweichungen III). — Im allgemeinen scheint es sich aber um eine ziemlich stabile Wetterlage zu handeln, daher konnten auch die Morgendruckkarten für die Untersuchung der Nachmittagsaufstiege verwendet werden.

Beispiel 2 zu ‚2β', Seite 47, 10. Mai 1935 — SE-Dreieck.

	Boden	500	1000	1500	2000	2500	3000	
Brl	0	16	7	4	29	30	1	WZ
(7^h)	0	2	4	4	5	5	4	m/sec
Dr	16	11	10	10	9	6	3	WZ
(8^h)	2	5	6	5	4	4	5	m/sec
Gl	0	16	0	0	29	1	32	WZ
(8^h)	0	1	0	0	4	2	3	m/sec

900-mb-Karte: Der Bezirk liegt am S-Abhang eines H-Keiles (von WNW her nach Deutschland hereinragend). — Brl—Dr auf annähernd gleicher Isobare, die nach N konkav gekrümmt (Radius ca. 350 km); ergibt Richt-Stö II bei 1000 m, III bei 1500 m. (In 2000 m differieren die Stationen sogar um 12 WZ = Stö IV; mangels einer besonderen Druckkarte in dieser Höhe läßt sich dies nicht näher prüfen; eventuell auch fehlerhafte Werte möglich.) — (Gl nicht vergleichbar, liegt im Niveau der 900-mb-Fläche auf der Windscheide und hat Stille.)

700-mb-Karte: Bezirk befindet sich an der SE-Seite des H-Keiles. — Linie Brl—Dr mehr oder weniger senkrecht zum JV: Richt-Abweichungen nur I in 3 km. — Die Isobarenführung im Süden des Bezirkes ist nicht sicher, insbesondere die Form der sattelartigen Einschnürung, Gl daher kaum zu kontrollieren.

Sonstige Bemerkungen: Die Schichten unterhalb 1000 m sind zur Auswertung ungeeignet, in ihnen herrscht allgemeine Schwachwindigkeit bis Stille, der Bezirk liegt in einem weitläufigen Kerngebiet (Sattel) ohne stärkere Druckgegensätze.

*) Siehe S. 47 f.

Nebenbei bemerkt stellt dieser Termin, wie die Höhenkarten zeigen, einen Fall mit deutlicher Verschiebung der Druckverteilung mit der Höhe dar, und die Vergleichsverhältnisse im SE-Dreieck ändern sich von einem Niveau zum anderen.

Beispiel 3 zu ‚2γ', Seite 47, 29. Mai 1935 — NW-Dreieck.

	Boden	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	
Hb	6	10	11	11	11	11	11	17	0	WZ
(7^h)	2	5	4	2	1	2	3	2	0	m/sec
Hv	7	10	8	9	9	11	15	16	10	WZ
(4^h)	1	9	5	4	4	3	5	2	3	m/sec
Brm	12	13	11	11	11	11	17	12	11	WZ
(7^h)	2	8	9	8	6	4	2	2	4	m/sec

An diesem Tage herrscht über ganz Mitteleuropa sehr flache Druckverteilung mit unregelmäßigen Isobaren, was sich auch in den Höhenkarten zeigt. Allerdings scheint in der Höhenlage der 900-mb-Fläche, d. h. um 1000 m, eine etwas kräftigere und in der Richtung weniger labile Strömung zu bestehen (aus SE).

Die Vergleichsverhältnisse weisen dem Isobarenbild entsprechend sehr unregelmäßige Störungen auf. — Die Richtungsabweichungen erreichen die Größenordnung III. — Auffallend ist dabei die gute Richt-Üst in den mittleren Schichten. Die relativ gerichtete SE-Strömung, die sich in der Druckverteilung in ca. 1000 m Höhe zu erkennen gibt, scheint im Bereich des Bezirkes gerade bis 2500 m hinaufzureichen. — Die vorkommenden Geschw-Stö nehmen ebenfalls große Werte an (bis IV), den unregelmäßigen Gradientveränderungen in der Horizontalen entsprechend.

Dieser Fall stellt einen Übergang zur „Schwachwindigkeit" (S. 34 ff.) dar; die auftretenden Stö sind unregelmäßig verteilt und wechselnd groß und nicht eindeutig in den Höhenkarten zu analysieren. Die Zeichnung der Höhenisobaren ist dabei ebenfalls nur ungenau und nicht mit Sicherheit möglich. (Siehe insbesondere die 500-mb-Karte dieses Tages!)

Beispiel 4 zu ‚2δ', Seite 47, 7. März 1935 — NW-Dreieck.

	Boden	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	
Hb	32	5	5	3	3	4	2	3	3	WZ
(11^h)	2	5	4	3	9	9	10	14	17	m/sec
Hv	0	8	6	5	4	3	3	2	2	WZ
(8^h)	0	6	8	11	10	12	15	13	13	m/sec
Brm	6	10	11	7	4	2	5	4	4	WZ
(8^h)	1	7	7	7	10	12	13	16	17	m/sec

Beachtlich ist zunächst die starke Zunahme der Druckgegensätze mit der Höhe an diesem Tage, was die Höhenkarten und die Windmessungen zeigen. — Besonders fallen aber bei Betrachtung der Höhenkarten die starken

Windschwankungen im Stromfeld über ganz Deutschland auf. Alle eingezeichneten Windwerte in ihrer Gesamtheit sowie der allgemeine JV lassen erkennen, daß eine im Mittel annähernd geradlinige NE-Strömung vorhanden ist. Die Stromlinien aber zeigen wellenförmigen Verlauf (siehe auch S. 15 und besonders Literaturangabe [5]!). — Unsere Höhenkarten sind nun leider nicht geeignet, solche kleineren und nicht regelmäßigen Sonderheiten im Isobarenfeld erkennen zu lassen, weil das Netz der aerologischen Stationen, welche die Angaben über die Höhendrucke liefern, dafür viel zu weitmaschig ist. Der wellenförmige Verlauf der Isobaren in den Höhenkarten dieses Beispieles ist nach den vorhandenen Höhenwinden gezeichnet; in diesem Falle wäre es also sinnlos, wollte man diese Sonderheiten des Stromfeldes am Verlauf der einzelnen Isobare prüfen*).

Es sei aber hervorgehoben, daß in diesem Beispiel Richt-Stö von Größenordnungen bis zur Gruppe III (und Geschw-Stö bis Gruppe IV) auftreten, und zwar anscheinend verursacht durch die bei an sich geradlinigem Isobarenfeld bestehende Neigung zu Wellenbildung.

Nach den oberen Schichten zu werden die Abweichungen rasch kleiner (bis I = „Üst"), was anscheinend mit der nach oben sich ausbildenden zyklonalen Isobarenkrümmung im Zusammenhang steht.

c) Zusammenfassung.

Die entstehenden Richtungsstörungen der Vergleichsverhältnisse an benachbarten Windmeßstationen — sofern es sich nicht um solche handelt, die durch der Strömung innewohnende und im Isobarenverlauf nicht unmittelbar erkennbare Schwankungen verursacht werden (siehe S. 34 ff.) — sind eindeutig abhängig vom jeweiligen Krümmungsgrad der Isobaren. Eine Angabe quantitativer Mittelwerte dafür wäre zwecklos.

Man wird von Fall zu Fall zu prüfen haben, ob für solche Störungen in der Gleichförmigkeit des Stromfeldes Voraussetzungen in der Druckverteilung gegeben sind. Wieweit dies möglich ist, hängt davon ab, ob man in der dazu notwendigen Weise Einsicht in die herrschende Wetterlage nehmen kann. (Siehe auch den dritten Teil, S. 70 ff.)

IV. Sprungschichten.

Teilübersicht:

a) Einfluß von Sprungschichten auf die Vergleichsverhältnisse (Allgemeines).
b) Untersuchung von Sprungschichten hinsichtlich Neigungswinkel und Neigungsrichtung (S. 53).
c) Zusammenfassung (S. 58).

---

*) Die Höhendruckangaben, die für diesen Tag vorlagen, dürften vermutlich nicht ohne Fehler sein. Bei der 500-mb-Karte kann man wohl kaum sagen, daß die Isobaren „zwanglos" eingezeichnet erscheinen.

a) Einfluß von Sprungschichten auf die Vergleichsverhältnisse (Allgemeines).

Wenn verschieden bewegte Luftmassen aneinandergrenzen, so erfolgt an ihrer Berührungsfläche diskontinuierlich der Übergang vom Bewegungszustand der einen zu dem der anderen Strömung.

Wird bei einer Höhenwindmessung solch eine „Sprungfläche" angeschnitten, so zeigt der vertikale Verlauf der Windmeßwerte in der Höhenlage dieser Fläche sprungartige Veränderung der Windrichtung oder der Geschwindigkeit oder auch beider zugleich. Wenn man zwei Orte hinsichtlich ihrer Strömungsverhältnisse vergleicht, so kann dabei eine Sprungfläche je nach ihrer Lage in verschiedener Weise ihren Einfluß geltend machen.

Denkt man sich den einen Grenzfall, die Trennungsfläche stünde etwa senkrecht und zwischen beiden Windmeßstationen, dann ergibt die eine Windmessung bis in alle Höhen den Bewegungszustand der einen Luftmasse, die am Nachbarort ausgeführte Messung den der anderen Strömung. Der vertikale Verlauf jeder Meßreihe ist ungestört, doch ergeben sich beim Vergleich der beiden Windmessungen gegenseitige Abweichungen in allen Höhen.

Der zweite Grenzfall ist der, daß die beiden ungleich bewegten Luftmassen horizontal übereinanderliegen; die dann waagerecht verlaufende Trennungsfläche wird von beiden Pilotballonen in der gleichen Höhe passiert, unterhalb dieser zeigen beide Meßreihen die untere, darüber die obere Windströmung; zwischen den verglichenen Stationen herrscht aber in allen Schichten Übereinstimmung.

Ist jedoch die Trennungsfläche zum Horizont geneigt, wie es in der Atmosphäre gewöhnlich der Fall ist, dann liegt sie über horizontal voneinander entfernten Orten verschieden hoch, und zwischen letzteren treten Winduntersehiede in demjenigen Höhenintervall auf, das durch den Höhenunterschied der Sprungfläche zwischen zwei Beobachtungsstellen gegeben ist. Dabei ist noch folgendes zu beachten: Die Winduntersuchungen erstrecken sich auf die Schicht des Stromfeldes, die unten vom Erdboden, oben vom 5000-m-Niveau begrenzt wird. Es ist dabei möglich, daß eine geneigte Sprungfläche die obere oder untere Grenze unserer 5 km dicken Schicht zwischen beiden Meßpunkten schneidet. Von den letzteren wird dann nur einer den Windsprung im vertikalen Verlauf der Werte zeigen.

Wenn eine Höhenwindmessung vorliegt, und es soll daraus auf den Wind für einen Ort in der Umgebung geschlossen werden, so kann man den Einfluß einer vorhandenen Sprungfläche, die sich etwa im vertikalen Verlauf der gegebenen Meßreihe zu erkennen gibt, bestimmen, sobald die Neigungsrichtung und der Neigungswinkel dieser Diskontinuitätsfläche bekannt ist.

In der Natur sind derartige Windsprungflächen nicht selten; sehr häufig treten dabei gleichzeitig mehr oder weniger schroffe Veränderungen im vertikalen Verlauf der Temperatur und Feuchte auf, denn gewöhnlich handelt es sich dabei überhaupt um Luftmassen verschiedenen Ursprungs, die sich an den Diskontinuitätsflächen berühren. — Die Vorgänge, die sich gerade im Bereich der Grenzfläche abspielen, bestimmen in erster Linie das Wetter und seine Entwicklung. Helmholtz und später Margules haben

bereits festgestellt, daß die Trennungsfläche zwischen Luftmassen verschiedener Dichte, die sich außerdem in verschiedenartiger Bewegung befinden, im stationären Zustand eine schräge Lage zum Horizont einnimmt, wobei die schwere Luft keilförmig unter der leichteren liegt. Der Neigungswinkel α ist bei beschleunigungslosen geradlinigen Bewegungen zweier verschieden temperierter Luftmassen nach Margules und Bjerknes gegeben durch die Beziehung*)

$$\operatorname{tg}\alpha = -\frac{2\omega \sin\varphi}{g} \cdot \frac{\varrho_1 v_1 - \varrho_2 v_2}{\varrho_1 - \varrho_2};$$

hierin bedeuten:

ω: Winkelgeschwindigkeit der Erddrehung,
φ: geographische Breite,
g: Schwerebeschleunigung,
ϱ: Dichte der Luft,
v: Geschwindigkeit der Luft.
Index 1 für untere kalte, Index 2 für obere warme Luftmasse.

Mit der absoluten Temperatur T statt der Dichte ϱ ergibt sich die Beziehung in der Form:

$$\operatorname{tg}\alpha = -\frac{2\omega \sin\varphi}{g} \cdot \frac{v_1 T_2 - v_2 T_1}{T_2 - T_1}.$$

Der Winkel α wird um so größer, je verschiedener die Geschwindigkeiten und je ähnlicher die Temperaturen der Luftmassen sind (und außerdem, je näher dem Pole die Bewegungen stattfinden).

Wenn man z. B. folgende Werte als gegeben annimmt: $v_1 = 0$, $v_2 = 10$ m/sec, $T_1 = 273^0$, $T_2 = 283^0$, $\varphi = 45^0$, so erhält man $\alpha = 0^0\ 9'\ 45''$, d. h. auf 100 km Entfernung würde die Grenzfläche um 286 m ansteigen, was einem Neigungsverhältnis von ca. 1 : 350 entspricht.

Für die Gültigkeit der obigen Formel ist Voraussetzung, daß die Bewegungszustände im Gleichgewicht und stationär sind. In dem Falle erfolgen Windströmungen nur quer zur Keilrichtung der Grenzfläche. Wenn die Lage der Grenzfläche nicht dem Gleichgewichtszustand entspricht, dann ergeben sich Windkomponenten auf diese zu oder von ihr weg; die Fläche wird damit zur Gleitfläche.

Abgleitflächen sind flacher geneigt, als der Gleichgewichtslage entspräche, Aufgleitflächen steiler. Für die bei Gleitflächen beobachteten Neigungen gibt G. Stüve folgende Verhältniszahlen[23]):

Aufgleitflächen:
eigentliche Aufgleitflächen 1 : 80 bis 1 : 120
(aufgleitende Warmluft)
Einbruchsflächen 1 : 25 bis 1 : 80
(einbrechende Kaltluft).

Abgleitflächen:
selten steiler als 1 : 500.

*) Siehe bei A. Defant: Wetter und Wettervorhersage. 2. Auflage, S. 41 und F. M. Exner: Dynamische Meteorologie. 2. Auflage, S. 192—194.

Auch Schinze nennt für Aufgleitfronten den Neigungswinkel normal, der durch das Verhältnis 1 : 100 gegeben ist[39]). K. Diesing stellte bei der genauen Untersuchung einer Aufgleitfläche (13. Jan. 1920) in Übereinstimmung mit Stüves Zahlen eine Neigung von etwa 1 : 125 fest[6]).

Wenn es möglich wäre, den Neigungswinkel und die Neigungsrichtung der Diskontinuitätsflächen im Einzelfall annähernd zu bestimmen, so könnte man sich damit jeweils — wie schon gesagt — rasch über die zu erwartenden Windunterschiede zwischen benachbarten Höhenwindmeßstationen klar werden. Diese Analyse müßte natürlich, wenn sie praktischen Nutzen bringen soll, ohne besondere aerologische Meldungen von zahlreichen anderen Stationen möglich sein, nur an Hand der vom Meßort vorliegenden Witterungsbeobachtungen und der Bodenwetterkarte und auf Grund von mittleren Angaben über Grenzflächenneigungen bei typischen Wetterlagen.

Zur Prüfung dieser Frage am Material vorliegender Arbeit wurde eine besondere Auswertung der Termine vorgenommen, bei denen die vorliegenden Höhenwindmessungen das Vorhandensein von Luftmassengrenzen mit Windsprüngen vermuten ließen.

Bevor darauf im folgenden Abschnitt näher eingegangen wird, sei an dieser Stelle eine Bemerkung zur Bezeichnung „Sprungfläche" eingefügt: Die Änderung der meteorologischen Daten beim Übergang von einer Luftmasse zur anderen wird in Wirklichkeit nicht ideal „sprungartig" erfolgen, sondern wegen der immer stattfindenden Austauschvorgänge in dünnen Übergangsschichten. Wenn es sich um die in der Natur beobachteten Erscheinungen handelt, ist es daher richtiger, von „Sprungschichten" statt von „Sprungflächen" zu sprechen, wie es bereits in der Überschrift zu diesem Abschnitt geschehen ist.

b) Untersuchung von Sprungschichten hinsichtlich Neigungswinkel und Neigungsrichtung.

Die Lage einer Ebene im Raum ist durch 3 Punkte bestimmt. Über den für diese Arbeit gewählten Stationsdreiecken kann also eine gegebenenfalls vorhandene Windsprungfläche bzw. -schicht festgelegt werden, sofern sich diese im vertikalen Verlauf der Windmeßwerte an den 3 Stationen eines Bezirkes genügend eindeutig zu erkennen gibt. Aus den Höhen der Diskontinuitätsfläche über jedem der 3 Meßorte und aus deren Lage und gegenseitigem Abstand ist dann leicht Neigungsrichtung und Neigungswinkel der Grenzfläche zu erhalten.

Für die derart an Hand der Windbeobachtungen ermittelten Sprungflächen — es wird weiter unten im Zusammenhang darüber berichtet — wurde versucht, deren Neigungsrichtung nach der Helmholtz-Margulesschen Theorie der Grenzflächen zu prüfen. — Es sei schon im voraus gesagt, daß dieser Vergleich zwischen Theorie und Beobachtungstatsachen viel größere Abweichungen ergab, als man ohnehin bei der Übertragung analytischer Beziehungen auf die Vorgänge in der Natur zu erwarten gewöhnt ist, da in der Wirklichkeit meist unerwünschte und unkontrollierbare Komplikationen hinzutreten.

Zunächst seien einige Bemerkungen über Wahl und Auswertung der „Termine mit Sprungschichten" vorausgeschickt:

Voraussetzung war sprunghafte Windänderung im vertikalen Verlauf der Höhenwindmeßreihen, entweder hinsichtlich Richtung u n d Geschwindigkeit zugleich, zumindest aber bei der Richtung.

Die Sprungschicht mußte zwei sichtlich verschiedene Ströme voneinander trennen, die sich eindeutig unter bzw. über der Grenzfläche festlegen ließen. Dabei wurden solche Windsprünge, die eventuell nur als Schwankungen (±) zu deuten sind, fortgelassen.

Ferner war gefordert, daß die Strömungen beiderseits der Sprungschichten über allen Stationen des Bezirkes zu identifizieren waren. — Stetige Windänderung mit der Höhe wurde auch bei schroffen Unterschieden nicht als „Sprung" bezeichnet.

Grenzflächen in Bodennähe sind zur Vermeidung von Störungen durch Bodeneinfluß im allgemeinen nicht mit ausgewertet worden.

E r l ä u t e r u n g s b e i s p i e l:

21. Juli 1934 — Höhenwindmessungen im NW-Dreieck*).

	Boden	500	1000	1500	2000	2500	3000	4000	5000	
Hb	5	7	9	18‖	20	21	20	22	21	WZ
(8^h)	4	8	4	2	5	6	6	8	6	m/sec
Hv	6	10|	11	14|	14‖	21	20	22	21	WZ
(7^h)	1	10	6	3	4	4	6	7	6	m/sec
Brm	4	8	11	12	18|	19	21	20	22	WZ
(6^h)	3	9	7	5	4	4	6	5	8	m/sec

An diesem Tage herrschte in den unteren Schichten eine östliche, darüber eine südwestliche Strömung, die in allen drei Meßreihen zu erkennen ist. Die Sprungschicht, deren mittlere Höhe über Hb ca. 1400 m, über Hv ca. 2300 m und über Brm ca. 1900 m betrug, dürfte sich demnach etwa von Süd nach Nord senken mit einem Gefälle von ca. 1 : 140.

Nachdem in dieser Weise Neigungswinkel und -richtung der Windsprungschichten jeweils aus den drei Strömungsbeobachtungen ermittelt worden war, wurde versucht, die Neigungsrichtung für dieselben Schichten auf Grund der Grenzflächentheorie zu bestimmen, und zwar nach der von Stüve gegebenen Regel[41]):

> „Blickt man in die Richtung der Vektordifferenz Wind oben minus Wind unten, so ist die Blickrichtung die Spur der Fläche und die Fläche steigt nach links an."

Um die beiden Vektoren zu erhalten, müßte demnach e i n Pilotaufstieg genügen, dessen Werte für die übereinandergelagerten Strömungen genügend repräsentativ sind.

Wenn man in dem obigen Beispiel für die Strömung unterhalb der Grenzschicht eine mittlere Richt von 8 WZ (E-Wind) und eine mittlere Geschw

*) Siehe Zeichenerklärung im Anhang S. 80 f.

von 8 m/sec, für die obere Strömung 20 WZ (SW-Wind) und 6 m/sec annimmt, dann verliefe nach obiger Regel der Schnitt der Grenzschicht mit dem Boden (ihre Spur) etwa in der Richtung WSW—ENE, die Schicht müßte sich etwa von NNW nach SSE senken. Die Abweichung der theoretischen von der beobachteten Neigung (S—N) beträgt hier ca. + 14 WZ (Vorzeichen positiv, da berechnete Neigungsrichtung im Uhrzeigersinn von der beobachteten weggedreht). —

In der folgenden Tabelle sind nun von allen tabellierten Terminen aus der Zeit: Juni 1926 bis Dezember 1935 diejenigen mit Sprungschichten aufgeführt, insgesamt 38 Fälle, 30 aus dem nordwestdeutschen Bezirk, 8 aus dem südostdeutschen.

Sie sind nicht in zeitlicher Reihenfolge angeordnet, sondern nach Wetterlagen (Spalte III), in diesem Falle gemäß der Bodendruckverteilung, und zwar so, daß die Fälle mit H-Wetter am Anfang, die mit T-Wetter am Schluß stehen. Die Neigungsrichtung (Spalte V) ist auf die Druckgefällerichtung bezogen worden:

„→ T“ bedeutet: Die Sprungschicht senkt sich zum tiefen Druck hin,
„→ H“ bedeutet: Die Sprungschicht senkt sich zum hohen Druck hin,
„→ T^{2r}“, („→ T^{2l}“): In der Druckgefällerichtung, aber 2 WZ nach rechts (nach links) davon seitlich abweichend.

Termine mit Sprungschichten (aus dem Beobachtungszeitraum Juni 1926 bis Dezember 1935).

Lfd. Nr.	Datum	Wetterlage	Neigungsverhältnis ermittelt a. d. Höhenwindmeßreihen (i. Klammern mittlere Höhe d. Sprungschicht üb. d. Bezirk in km)	Neigungsrichtung ermittelt a. d. Höhenwindmeßreihen in bez. auf die Druckverteilung i. Bereich des Bezirkes (Bod.-Karte)	Abweichungen der theoretisch zu erwartenden Neig.-Richt. von den tatsächlichen i. WZ (+ rechts, − linksgedr.)
I	II	III	IV	V	VI
		Nordwest-Dreieck			
1	23. 2. 1928	H-Kernlage	z. Auswert. ungeeign.	—	—
2	28. 8. 1933	H-Kernlage evtl. Rückseite	„ „ „	—	—
3	13. 2. 1934	H-Westabhang evtl. Rückseite	≈ 1 : 200 (1,5)	≈ → H	+ 13
4	7. 4. 1928	H-Westnordwest-Hang	z. Auswert. ungeeign.	—	—
5	16. 10. 1928	H-Nordwest-Hang . .	≈ 1 : 60—1 : 80 (3,0)	≈ → H	— 14
6	27. 6. 1931	H-Nord-Hang	≈ 1 : 80 (3,8)	≈ → H	+ 11
7	12. 5. 1934	H-Süd- bis West-Hang .	niedrige Schicht: ≈ 1 : 200 (1,5)	≈ → H^{4r}	+ 8
			hohe Schicht: ≈ 1 : 70 (4,0)	≈ → T^{3l}	+ 5
8	19. 6. 1930	H-Rückseite (?) . . .	≈ 1 : 140 (2,5)	≈ → H^{3r}	+ 11
9	4. 7. 1932	H-Rückseite	≈ 1 : 70 (3,8)	≈ → T	— 7
10	5. 3. 1935	H-Rückseite	≈ 1 : 500 (2,0)	≈ → T	+ 2
11	5. 6. 1933	H-Rücks. od. West-Hang	≈ 1 : 120 (2,0)	≈ → H	— 14
12	23. 4. 1930	H-Rückseite; H—T . .	≈ 1 : 60 (3,0)	≈ → H	16

Lfd. Nr.	Datum	Wetterlage	Neigungsverhältnis | richtung ermittelt a. d. Höhenwindmeßreihen (i. Klammern mittlere Höhe d. Sprungschicht üb. d. Bezirk in km)	in bez. auf die Druckverteilung i. Bereich des Bezirkes (Bod.-Karte)	Abweichungen der theoretisch zu erwartenden Neig.-Richt. von den tatsächlichen i. WZ (+ rechts-, − linksgedr.)
I	II	III	IV	V	VI
13	16. 11. 1929	H-Rückseite, evtl. T-Vorderseite	≈ 1 : 100 (5,0)	≈ → T	— 14
14	26. 4. 1933	H-Rückseite, bzw. schon T-Vorderseite	≈ 1 : 100 (4,0)	≈ T → H	16
15	3. 9. 1934	H-Rückseite, evtl. schon T-Vorderseite	≈ 1 : 120 (4,0)	≈ → T	0
16	8. 9. 1934	H-Rückseite, evtl. schon T-Vorderseite	≈ 1 : 330 (1,5)	≈ → T	+ 3
17	10. 4. 1928	H—T, evtl. T-Vorders.	≈ 1 : 200 (2,4)	≈ → T	— 3
18	31. 3. 1930	H—T, evtl. T-Vorders.	≈ 1 : 70 (3,8)	≈ T → H	+ 7
19	28. 4. 1932	H—T, evtl. T-Vorders.	≈ 1 : 200 (1,6)	≈ T → H	+ 5
20	4. 5. 1935	H—T, evtl. T-Vorders.	≈ 1 : 60 (3,5)	≈ → H	+ 14
21	29. 9. 1933	H—T, nicht typisch, flach	z. Auswert. ungeeign.	—	—
22	2. 5. 1927	H—T, flach	≈ 1 : 110 (2,7)	≈ → T	16
23	11. 8. 1932	H—T	≈ 1 : 140 (2,0)	≈ → H	+ 13
24	1. 7. 1931	H—T (Vorderseite-T) .	≈ 1 : 200 (2,3)	≈ → H	+ 9
25	6. 5. 1935	T-Vorderseite, flach . .	≈ 1 : 90 (2,5)	≈ → T	— 12
26	29. 5. 1935	T-Vorderseite, flach . .	≈ 1 : 70 (3,8)	≈ → T	?
27	17. 9. 1929	evtl. T-Nordseite, flach	≈ 1 : 100 (4,0)	≈ → H	+ 14
28	2. 6. 1934	T-Nordseite, sehr flach	≈ 1 : 70 (2,8)	unbestimmt	—
29	21. 7. 1934	T-Nordseite	≈ 1 : 140 (1,8)	≈ T → H[41]	+ 14
30	1. 8. 1931	T allgemein, sonst unbest.	z. Auswert. ungeeign.	—	—
		Südost-Dreieck			
1	19. 2. 1932	H-Kern	≈ 1 : ∞ (1,5)	eben!	—
2	12. 8. 1932	H-Kern	z. Auswert. ungeeign. (unbest., Kernlage!)	—	—
3	17. 3. 1927	H fast Kern	z. Auswert. ungeeign.	—	—
4	28. 6. 1932	H-Rückseite (?, unregelmäßiger JV)	unbestimmt (1,8)	≈ → H[41]	— 14
5	3. 5. 1933	H—T (H i. NE, T-Rinne i. SW)	≈ 1 : 200 (≧2,0)	≈ T → H[4r]	+ 10
6	12. 5. 1931	H-Randl., evtl. schon T-Vorderseite	≈ 1 : 220 (1,0)	≈ → T[4r]	— 5
7	14. 6. 1935	H—T, evtl. schon T-Vorderseite	≈ 1 : 140 (0–2,0)	≈ → H[2r]	+ 5 (?)
8	9. 8. 1935	T allgem. (?, sehr flach)	unbestimmt (1,5 bis ≧ 3,0)	≈ → T	— 7

Die in dieser Tabelle mitgeteilten Angaben zur Lage der vorkommenden Sprungschichten können natürlich auf besondere Genauigkeit keinen Anspruch erheben, schon wegen der relativ großen Höhenintervalle in den Meßreihen (500 m untere Schichten, 1000 m obere). — Dasselbe gilt für die Genauigkeit, mit der nach der Stüveschen Regel die theoretische Neigungs-

richtung festgestellt werden kann; den erforderlichen Angaben für den „Wind oben" und den „Wind unten" fehlt immer mehr oder minder die Eindeutigkeit.

Doch dürfte diese Auswertung trotzdem geeignet sein, die aus der Literatur entnommenen Zahlenwerte für Grenzflächenneigungen (siehe S. 52f.) mit den durch unser Material gegebenen Verhältnissen größenordnungsmäßig zu vergleichen und die beobachtete Neigungsrichtung der berechneten gegenüberzustellen.

Die Sprungschichten sind bis auf einen Fall mit horizontaler Lage im südostdeutschen Bezirk stets mehr oder weniger geneigt. Die gefundenen Vergleichszahlen für die Neigung entsprechen im ganzen durchaus den Angaben von Stüve und Schinze. Die flachste Neigung betrug 1 : 500 (5. März 1935 — NW-Bezirk). Daß im Mittel etwa das Verhältnis 1 : 100 gilt, scheint sich auch bei unserem Material zu bestätigen. 1 : 60 sind die steilsten, aber gar nicht selten vorkommenden Neigungen. — Es wurden mehr Unstetigkeitsschichten in der oberen Hälfte des untersuchten Raumes, Boden bis 5 km, gefunden als in der unteren. Fast scheint es so, als ob im allgemeinen die steiler abfallenden Schichten größere Höhen bevorzugen als die flach geneigten. Allgemeine Schlüsse sind in dieser Hinsicht aber nicht möglich.

Die Neigungsrichtung in bezug auf die Druckverteilung am Boden zeigt für

das NW-deutsche Dreieck in 15 Fällen Senkung der Schichten zum hohen,
in 10 Fällen zum tiefen Druck hin;

das SE-deutsche Dreieck in 3 Fällen zum hohen,
in 2 Fällen zum tiefen Druck;
in 1 Fall lag die Schicht horizontal.

Von diesen beobachteten Neigungsrichtungen weichen — wie oben schon erwähnt — merkwürdigerweise die nach der Vektordifferenz Wind oben minus Wind unten berechneten in den meisten Fällen stark ab; ja, wie die Tabelle zeigt (Spalte VI), kommen die größten Abweichungen von annähernd 16 WZ = 180° auffallend häufig vor, was bedeutet, daß sich in diesen Fällen die Schichten gerade entgegengesetzt als erwartet senken.

Verfasser hatte gehofft, möglicherweise einen Weg zu finden, der es gestatte, an Hand von nur einer Höhenwindmessung und mit Hilfe einer aus der Theorie der Grenzflächen abgeleiteten, für die praktische Anwendung brauchbaren Regel wenigstens ungefähr die zu erwartende Neigung einer Sprungschicht zu bestimmen. Das wäre natürlich das Erstrebenswerte für alle Fälle, wo es gilt, den Einfluß einer Windsprungschicht auf den Gültigkeitsbereich einer Höhenwindmessung abzuschätzen. Angesichts der in Spalte VI bei obiger Tabelle auftauchenden zahlreichen und großen Abweichungszahlen mußte jedoch das diesbezügliche Ergebnis als absolut negativ bezeichnet werden, jedenfalls soweit es sich um die Auswertung von Terminen mit gleichzeitigen hohen Pilotaufstiegen handelt.

Eine befriedigende eindeutige Erklärung kann für dieses unerwartete Ergebnis nicht gegeben werden. Vielleicht ist die von uns gemachte Annahme, daß die in den Höhenwindmessungen erkennbaren Windsprung-

schichten zugleich Grenzflächen im Sinne von Margules sind, nicht ohne weiteres für die Mehrzahl der Fälle zulässig. — Ferner bestünde die Möglichkeit, daß sich hier die starke „Schönwettereinseitigkeit" des Materials (siehe S. 11) besonders bemerkbar macht insofern, als schroffe Grenzen zwischen stark verschiedenartigen und ungleich bewegten Luftmassen gewöhnlich im Bereich von kräftiger entwickelten Zyklonen auftreten und daher im allgemeinen für Schlechtwetter typisch sind.

c) Zusammenfassung.

Liegt über einem Bezirk eine Windsprungschicht, dann können Abweichungen der Windgeschwindigkeits- und -richtungswerte zwischen zu vergleichenden Meßstationen auftreten, sofern die Schicht nicht horizontal verläuft.

Das Höhenintervall, in dem zwei benachbarte Stationen — bei sonst ungestörtem Strömungsfeld — nicht miteinander übereinstimmen, ist gegeben durch die ungleiche Höhenlage der Schicht über den beiden Meßorten.

Die Größe der Meßwertabweichungen ist abhängig von den Unterschieden in der Bewegung der beiden Strömungen beiderseits der Trennungsschicht. — Wenn man den Einfluß einer Sprungschicht auf den Gültigkeitsbereich einer Höhenwindmessung beurteilen will, ist es sehr vorteilhaft, Neigungsrichtung und -winkel der Schicht zu kennen. Beides ist im Einzelfall verschieden, worüber Näheres zu erfahren, der Zweck der vorgenommenen Sonderuntersuchung war.

Hinsichtlich der Größenordnung der in der Atmosphäre vorkommenden Neigungswinkel konnte bei der hier angewandten Untersuchung des zu dieser Arbeit vorliegenden Höhenwindmaterials Übereinstimmung mit den in der Literatur vorhandenen Angaben festgestellt werden. Bezüglich der Neigungsrichtung wurde die Anwendungsmöglichkeit einer von Stüve auf Grund der Grenzflächentheorie nach Margules-Bjerknes gegebenen Regel geprüft; es konnte aber kein positives Ergebnis herausgestellt werden.

Ist im Strömungsgebiet einer Pilotstation, für welche der Gültigkeitsbereich der dort ausgeführten Visierungen interessiert, eine genügend ausgeprägte Diskontinuitätsfläche vorhanden, so gibt sich diese im vertikalen Verlauf der Höhenwindmeßwerte eines Aufstieges zu erkennen. — Über sonstige Möglichkeiten zu deren Bestimmung (Wolken, Luftmassenanalyse) wird noch im dritten Teil zu sprechen sein.

Es sei durch eine Höhenwindmessung das Vorhandensein einer Sprungschicht und deren Höhenlage über dem Meßort beobachtet worden; weitere direkte Anhaltspunkte, aus denen sich auf die Lage der Diskontinuitätsschicht im Raume schließen ließe, mögen fehlen. Wenn dann die vorliegende Windbeobachtung für eine benachbarte Station verwendet werden soll, für die keine Messung vorhanden ist, so muß man für die Neigung der Fläche — die zusammen mit dem gegenseitigen Abstand der zu vergleichenden Orte das gegebenenfalls gestörte Höhenintervall ergibt — einen mittleren Wert verwenden. Dieses Höhenintervall, innerhalb dessen nur mit Vorsicht Windmeßwerte verglichen werden dürfen, wird man lieber größer als zu klein ansetzen, wenn die tatsächliche Lage der Schicht nicht bekannt ist.

Nach den Feststellungen, die bei dieser Arbeit gemacht werden konnten, und nach den in der Literatur vorgefundenen diesbezüglichen Angaben kann dafür das Verhältnis von $\sim 1 : 80$ bis $\sim 1 : 100$ empfohlen werden; steiler sich senkende Schichten dürften in der Natur verhältnismäßig selten sein, soweit es sich nicht um ungewöhnliche Wetterlagen handelt — damit sind hier vor allem kräftig entwickelte Einbruchsfronten gemeint —, die sich als solche meist hinreichend deutlich bemerkbar machen.

Auf die durch Sprungschichten bewirkten Störungen der Vergleichsverhältnisse ist — abgesehen von der Wiedergabe eines Erläuterungsbeispiels — im einzelnen nicht eingegangen worden. Diese sind ja in bezug auf Größe und Verteilung eindeutig abhängig von den Bewegungszuständen der übereinandergelagerten Strömungen und von der Lage ihrer Trennungsfläche.

Schichtungen in der Atmosphäre sind durchaus nicht selten, ihr Vorhandensein ist eher als das Normale zu bezeichnen. E x n e r spricht geradezu von der „blätterigen Struktur" der Atmosphäre[12]). Wie für die meisten meteorologischen Aufgaben sind diese Diskontinuitätsflächen bzw. -schichten auch für unsere Höhenwinduntersuchungen, wie wir sahen, sehr wichtig. Eine eingehendere Behandlung war leider im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich. Doch würde es dieses Thema durchaus verdienen, zum Gegenstand einer Sonderuntersuchung gemacht zu werden. Vor allem wäre dabei zu versuchen, ob sich nicht doch für die in der Natur vorkommenden Grenzflächenneigungen gewisse Regeln aufstellen ließen, die eine Nutzanwendung gestatten. Allerdings müßte dafür anders geartetes Material herangezogen werden, d. h. gerade für die zyklonalen Wetterlagen mit Wolkenschichten und kräftigen Luftbewegungen müßte die Stromfeldstruktur untersucht werden; statt der Pilotwindmessungen kämen dafür wohl nur Fesselaufstiege in Frage. Die vermiedene „Schönwettereinseitigkeit" wäre dabei allerdings gegen die geringeren Aufstiegshöhen erkauft.

Es müßten jedoch auch hierbei Aufstiege an mindestens drei Stationen, die in einem Bezirk etwa ähnlich unserem nordwestdeutschen Dreieck liegen, gefordert werden. Deshalb dürfte die Beschaffung von Material in der gewünschten Art nicht ganz einfach sein. Im praktischen Wetterdienst werden ja nur an den beiden Stellen Lindenberg und Friedrichshafen regelmäßige Fesselaufstiege ausgeführt. Vielleicht könnte man aber z. B. Lindenberg in Verbindung mit Kummersdorf dafür einsetzen. Zu diesen beiden Stationen, die sowieso für Fesselaufstiege eingerichtet sind, müßte man noch einen dritten Ort so wählen, daß ein geeignetes Dreieck entsteht. In der Nähe von Lindenberg und Kummersdorf gibt es eine dafür in Frage kommende aerologische Station nicht. Es wäre zu prüfen, ob es die Wichtigkeit der Aufgabe rechtfertigen würde, speziell für diesen Zweck zu einer Reihe von geeigneten Terminen eine „fliegende" Fesselaufstiegsstation an die passend gewählte dritte Ecke des Dreiecks zu schicken. Erhielte man auf diese Weise auch nur wenige, aber bestmöglich repräsentative Aufstiegsserien, die außerdem bei wirklich typischen Wetterlagen gewonnen wurden, so würde die Auswertung dieser Einzelfälle gewiß viele Einzelheiten herausstellen, die bei den hier vorgenommenen Untersuchungen verborgen bleiben mußten.

V. Unterschiedliche Lage und Entfernung der Stationen zu den Zentren barometrischer Gebilde.

Teilübersicht:

a) Allgemeines über den Einfluß auf die Vergleichsverhältnisse
b) Materialauswertung (S. 62).
c) Zusammenfassung (S. 68).

Bei horizontalen Entfernungen von der Größenordnung 100 km zwischen den zu vergleichenden Meßstationen muß man mit der Möglichkeit rechnen, daß für letztere hinsichtlich ihrer Lage zu den Erscheinungen des Druckbildes derart unterschiedliche Voraussetzungen gegeben sein können, daß dadurch die Vergleichsverhältnisse beeinflußt werden.

Im Abschnitt I dieses Kapitels, Seite 30 ff., wurden bereits diejenigen Unterschiede in der Windrichtung charakterisiert, die speziell dann entstehen, wenn die zu vergleichenden Stationen in oder in der Nähe von Kerngebieten gelegen sind. — Die Untersuchungen des Abschnitts III, Seite 45 ff., bezogen sich desgleichen auf Windrichtungsabweichungen, und zwar auf solche, die mit den sonstigen im Druckbild vorkommenden typischen Isobarenkrümmungen zusammenhängen. Das Verhalten der Windgeschwindigkeit bei unterschiedlicher Lage der Stationen im Druckbild dürfte nicht so einsichtig sein, es ist bestimmt durch die Verteilung der Größe des Gradienten in der Horizontalen. Die im folgenden beschriebenen Aufgaben hatten den Zweck, zu prüfen, ob in dieser Hinsicht eventuell vorhandene Regelmäßigkeiten für unsere vergleichenden Strömungsuntersuchungen praktische Bedeutung haben könnten; es wurden dabei im wesentlichen die zwei Haupttypen mit geschlossenen Isobaren, Hoch- und Tiefdruckgebiete, zugrunde gelegt.

a) Allgemeines über den Einfluß auf die Vergleichsverhältnisse.

Zwei Stationen können 1. verschiedenen Abstand vom Tief- (Hoch-) Zentrum haben, 2. in verschiedenen Sektoren eines Tiefs (Hochs) liegen. — Im ersten Falle sind die Meßorte auf einem vom Zentrum ausgehenden Radius angeordnet senkrecht zur Richtung der das Tief (Hoch) umschließenden Isobaren, im zweiten mögen sie annähernd gleichweit weg vom Zentrum, also im Isobarenverlauf liegen.

Im folgenden werden diese beiden Hauptmöglichkeiten „Radiallage“ und „Isobarenlage“ genannt.

1. Radiallage.

Zwischen zwei in Gradientrichtung liegenden Windmeßorten sind die Vergleichsverhältnisse hinsichtlich der Windgeschwindigkeit abhängig vom Verlauf der Stärke des Gradienten in der Entfernungsrichtung. Es ist bekannt, daß allgemein die Depressionen stärkere Druckgradienten aufweisen als die Hochdruckgebiete. Nach Hann wachsen Gradient und Windstärke kontinuierlich bei der Annäherung an das Depressionsgebiet. Die folgende Tabelle zeigt mittlere Werte für diese Veränderungen beim Übergang von einem Gebiete hohen Luftdruckes zu einer benachbarten Zyklone[26]):

Atlantischer Ozean und Europa. Mittlere Breite 51—56°.

Antizyklone

Luftdruckstufe	785/790	780/785	775/780	770/775	765/770	760/765	mm
Gradient	1,9	2,1	2,3	2,5	2,7	2,9	mm
Windstärke . . .	4,8	5,5	6,3	7,3	8,4	9,7	m/sec

Zyklone

Luftdruckstufe	755/760	750/755	745/750	740/745	mm
Gradient	3,1	3,1	3,4	3,5	mm
Windstärke . . .	11,3	12,2	12,4	12,5	m/sec

Die eigentlichen Tiefkerngebiete sind hierbei offenbar nicht miterfaßt, denn in diesen selbst herrschen gewöhnlich nur schwache Luftbewegungen. — Die Liste betrifft an sich Bodenwinde; es liegt aber kein Grund vor zu der Annahme, daß die von ihr gezeigten Verhältnisse nicht auch für höhere Niveaus Gültigkeit haben — natürlich unter Berücksichtigung von eventuellen Veränderungen der allgemeinen Druckverteilung mit der Höhe. — Die Werte zeigen grundsätzlich Windzunahme in der Richtung nach dem tiefen Druck zu.

Hinsichtlich der im Einzelfall zu erwartenden Windstärkeunterschiede zwischen benachbarten Wetterstationen dürften dieser Tabelle — die nur Mittelwerte allgemeinster Art gibt — kaum für uns verwertbare Schlüsse zu entnehmen sein.

Zu diesem Zweck wurden die geeigneten Termine aus unserem Material besonders ausgewertet, worüber weiter unten berichtet wird; zunächst sollen jedoch noch einige allgemeine Bemerkungen zu den Vergleichsverhältnissen von in Isobarenrichtung liegenden Stationen getan werden.

2. Isobarenlage.

Zwei auf einer Isobare in gewisser Entfernung zueinander liegende Windmeßstationen weichen in ihren Windstärkeangaben voneinander ab, wenn zwischen den Sektoren der betreffenden Zyklone oder Antizyklone Unterschiede in der Größe des Druckgradienten bestehen.

Für Zyklonen sind derartige grundsätzliche Unterschiede zwischen den einzelnen Sektoren eine bekannte Erscheinung. — Die steilsten Gradienten finden sich im Quadranten zwischen SE bis SW, auch häufig noch im W-Quadranten, die flachsten in dem zwischen NW bis NO, oder mit anderen Worten: Die größte Windstärke hat der hintere Sektor der rechten Seite der Depression (im Sinne des durchschnittlichen Fortschreitens derselben), die kleinste der vordere Sektor auf der linken Seite derselben (nach Hann [27]), siehe auch Defant [7])).

In Hanns Lehrbuch (S. 554) findet sich eine Tabelle: „Mittlere Windstärke in den verschiedenen Sektoren einer Barometerdepression (Jahresmittel)". Aus den darin gegebenen Windgeschwindigkeitswerten (nach 8 Sektoren) wurden für die Zahlenreihen „Nordseeküste" und „Breslau und Karls-

ruhe" die Änderungen von einem Sektor zum anderen ausgerechnet und diese dann auf Entfernungen von 100 km in der Richtung der Isobaren bezogen*):

Veränderungen der mittleren Windgeschwindigkeit von Sektor zu Sektor pro 100 km in einer Depression (im Bereich der Isobare mit dem Krümmungsradius r = 400 km).

Sektor d. Depr.	N—NE	NE—E	E—SE	SE—S	S—SW	SW—W	W—NW	NW—N	
Nordseeküste	0	+ 0,60	+ 1,13	+ 0,17	— 0,33	— 1,27	0	— 0,30	m/sec
Breslau—Karlsruhe	— 0,10	+ 0,27	+ 0,90	+ 0,80	+ 1,63	— 2,13	— 1,07	— 0,30	„

Ein Vergleich der beiden Zahlenreihen zeigt zunächst, daß die Änderungen in der Isobarenrichtung pro Entfernungseinheit durchschnittlich im Binnenland größer als an der Küste zu sein scheinen. Am stärksten ändert sich die mittlere Windgeschwindigkeit im Binnenland beim Übergang vom SW- zum W-Sektor mit — 2,13 m/sec pro 100 km. An der Küste findet die maximale Änderung ebenfalls zwischen diesen beiden Sektoren und im selben Sinne, aber mit kleinerem Betrag (1,27 m/sec pro 100 km) statt. — Die Zahlen der Tabelle scheinen nicht sehr repräsentativ zu sein; z. B. ist im Sektor mit den stärksten Winden die mittlere Geschwindigkeit im Binnenland größer angegeben als das Maximum in Küstennähe, nämlich im ersten Fall mit 15 m/sec im SW-Sektor, im zweiten mit 11 m/sec im S-Sektor (diese Tabelle ist hier nicht wiedergegeben). Jedoch können diesen Werten Einzelheiten für besondere Fälle sowieso nicht entnommen werden, schon wegen der bei der Umrechnung auf 100-km-Abstände gemachten schematisierten Annahmen (siehe Anmerkung unten).

Als allgemeines Ergebnis sei aber festgehalten, daß die Gradient- und damit Windunterschiede zwischen den Sektoren einer barometrischen Depression so angeordnet und von der Größenordnung sind, daß sie sich deutlich in den mittleren Windgeschwindigkeitswerten für die Sektoren von Zyklonen ausdrücken.

Auch diese Zahlenangaben von Hann beziehen sich nur auf Bodenwinde. Peppler [34]) hat zwar Werte für die mittleren Windgeschwindigkeiten in Zyklonen und Antizyklonen in Höhenschichten von 500 zu 500 bis 4000 m Höhe veröffentlicht; jedoch getrennt nach nur 4 Sektoren, welche Einteilung zu weitläufig ist, um diesem Material die für unsere Zwecke benötigten mittleren Gradientänderungen pro 100 km in Isobarenrichtung zu entnehmen.

b) Materialauswertung.

Im vorigen Abschnitt a wurden allgemeine Feststellungen darüber gemacht, wie sich durchschnittlich die Stärke des Druckgradienten bzw. die

*) Dazu war die Annahme nötig, daß die Windstärkezahlen der Hannschen Tabelle Mittelwerte für den Bereich einer Isobare in einem bestimmten Abstand vom Tiefzentrum darstellten; es wurden dafür 400 km gewählt. Der Umfang einer kreisrunden Isobare mit dem Radius 400 km wird damit $U \approx 2500$ km, daraus $U/_8$ = arc Sektor ~ 300 km. Die Veränderungen von Sektor zu Sektor waren daher nochmal durch 3 zu dividieren. Die obigen Werte haben somit nur überschlagsmäßige Bedeutung.

Windgeschwindigkeit verhält — einmal, wenn man in der Richtung des Gradienten (Stationen in Radiallage) — zum anderen, wenn man senkrecht dazu, d. h. in Isobarenrichtung fortschreitet.

Für den ersten Fall ergab sich, daß die Windgeschwindigkeit im allgemeinen in der Richtung nach dem tiefen Druck hin kontinuierlich zunimmt; die stärkste Luftbewegung findet man gewöhnlich in einiger Entfernung vom Tiefkern, in diesem selbst herrschen meist nur schwache Winde, während die zentralen Gebiete der Antizyklonen die geringsten Luftbewegungen haben. Für den anderen Fall, d. h. für Stationen, die auf einer das betreffende Druckgebilde umschließenden Isobare angeordnet sind, scheinen die Verhältnisse — jedenfalls für die hier in Frage stehenden Entfernungen von der Größenordnung 100 km — unbestimmter und weniger einsichtig zu sein.

Es wurde nun der Versuch unternommen, an Hand unseres Materials die Windstärkeunterschiede zwischen benachbarten Stationen für Radiallage einerseits, für Isobarenlage andererseits zu prüfen. Dafür kamen von den ausführlich protokollierten und mit Höhenkarten versehenen Terminen diejenigen zur Verwendung, bei denen in einem oder mehreren Niveaus Radiallage oder Isobarenlage für je 2 Stationen vorlag.

Für die Isobarenlage — das sei gleich an dieser Stelle zusammenfassend mitgeteilt — konnten in dieser Hinsicht gewisse Regelmäßigkeiten nicht gefunden werden, die etwa zur Aufstellung irgendwelcher Leitsätze berechtigt hätten. Es scheint vielmehr so, als ob benachbarte Stationen, die etwa konzentrisch um den Kern des Hochs oder Tiefs angeordnet sind, gewöhnlich wegen dieser derart „unterschiedlichen Lage im Druckbild" in ihren Windgeschwindigkeitsangaben keine wesentlichen, zum mindesten aber keine „für Isobarenlage typischen" Unterschiede zeigen.

Es sei davon abgesehen, über die dazu vorgenommenen Arbeiten — es wurde auch die Nutzanwendung der oben angeführten Tabelle Pepplers versucht — ausführlich zu berichten.

Für die Untersuchung der Vergleichsverhältnisse bei Radiallage erwiesen sich von den insgesamt 38 protokollierten Terminen 27 als geeignet, und zwar 20 aus dem norwestdeutschen, 7 aus dem südostdeutschen Dreieck.

An diesen Fällen wurde geprüft, was im Abschnitt a allgemein über Windstärkeunterschiede zwischen Orten mit verschiedenen Entfernungen von den Druckzentren festgestellt worden war, d. h.:

> Ob man annehmen darf, daß mit einer gewissen Regelmäßigkeit allgemein dem tiefnäheren Meßort eine größere Geschwindigkeit zukommt als der benachbarten, in der Richtung nach dem höheren Luftdruck zu liegenden Station.

Des weiteren wurde versucht, die Größenordnung der dabei auftretenden Störungen zu charakterisieren.

Hinsichtlich der Auswahl des Materials sei noch besonders darauf hingewiesen, daß alle in Frage kommenden Fälle genommen wurden, also ohne Rücksicht darauf, ob die zu erwartenden Vergleichsverhältnisse tatsächlich zutrafen oder nicht; dagegen wurden im Hinblick auf das ohnehin schon schwierige Problem der Eindeutigkeit Wetterlagen mit sonstwie

gestörtem Isobarenverlauf in der Nähe des Dreiecks, insbesondere mit starken Gradientänderungen (Kon- oder Divergenzen), von der Auswertung ausgeschlossen. — Die Ergebnisse werden an Hand der unten folgenden Tabelle (S. 65 ff.) mitgeteilt, zu der kurz noch einige erklärende Bemerkungen gemacht werden sollen: Zur Überschrift Spalte III betr. „Höhenlagen": Die Festlegung der durch ungleiche H—T-Lage modifizierten Vergleichsverhältnisse geschah mit Hilfe der drei Höhenkarten jedes Termins. Verglichen wurden also in erster Linie die Windwerte innerhalb der Höhenlagen 1 km, 3 km, 5 km (d. h. sozusagen in drei Horizontalschnitten) untereinander. Die außerdem von den Pilotauswertungen noch vorhandenen zwischenliegenden Meßwerte wurden je nach der Art der Druckänderungen mit der Höhe ebenfalls für die vergleichenden Untersuchungen mitverwandt. Die in Spalte IV eingetragenen Angaben beziehen sich auf die jeweilige Lage des Stationsdreiecks zur allgemeinen Druckverteilung, und zwar getrennt für die in Spalte III angegebenen einzelnen Niveaus eines Termins. Dafür bestehen im wesentlichen folgende Möglichkeiten: H-Kern, T-Kern; 4 (bzw. 8) H-Sektoren, 4 (bzw. 8) T-Sektoren; Lage auf einer Verbindungslinie H—T mit Angabe der Sektoren (Sektoren als Index).

Im übrigen sei auf die den Spalten vorangesetzten Überschriften verwiesen.

Erklärung besonderer Zeichen bei Spalte IV:

Fettschrift kursiv: Vergleichsverh. erwartungsgemäß.
Fettschrift normal: wider Erwarten Üst oder entgegenges. Vergleichsverh.
ja: wenn erwartete Verh. eindeutig, d. h. ohne Widerspruch und die Stö > 25%.
Bemerkungen: wenn erwartete Verh., aber irgendwie bedingt (0—25% oder nur teilweise).
nein: wenn wider Erwarten Üst oder sogar entgegenges. Stö.
Bemerkungen: wenn keine erwarteten Vergleichsverh., doch auch kein direkter Widerspruch.

Tabellen siehe Seite 65—67.

Übersieht man die in der Spalte VI eingetragenen Einzelergebnisse, so zeigt sich deutlich, daß in der Mehrzahl aller Fälle tatsächlich bei den verglichenen Windmeßwerten Unterschiede von der erwarteten Art auftreten: Die Stationen mit größerer Tiefnähe haben im allgemeinen größere Windgeschwindigkeiten.

Bei der Prüfung der anderen Fälle, deren Vergleichsverhältnisse mehr oder minder den so erwarteten nicht entsprachen, stellte sich heraus, daß bei diesen im Bereich des Bezirkes gewöhnlich keine repräsentativen Kerngebilde anzutreffen waren; die verglichenen Stationen lagen dann vielmehr in einem weiträumig gleichmäßigen Isobarenfeld mit meist annähernd geradlinigem Isobarenverlauf. Bei solcher „Zwischenlage" ist es oft nicht möglich, das gemessene Strömungsfeld eindeutig entweder dem Wirkungsbereich des zugehörigen Tiefs oder dem des entsprechenden Hochs zuzuordnen.

Daneben kam es allerdings auch verschiedentlich vor, daß die gefundenen Vergleichsverhältnisse mit dem Satz: „Zunahme der Geschwindigkeit in der Richtung auf den tiefen Druck zu" — auch wenn man dafür den soeben angeführten Zusatz für „Zwischenlage" berücksichtigt — nicht in Einklang

Termine mit „Radiallage“ (aus dem Beobachtungszeitraum Juli 1934 bis Dezember 1935).

Lfd. Nr.	Datum	Radiallage, zutreffend für welche Höhenlagen?	Barometrische Lage	Stationen, zueinander in Radiallage befindlich, u. wie sie sich i. bez. auf ihre Geschw. zueinander verhalten müßten	Die tatsächlich aus den Meßwerten gefundenen Vergleichsverhältnisse: a) Erwartungsgemäß? (ja — nein) b) Größe der Störungen
I	II	III	IV	V	VI
			Nordwest-Dreieck		
1	11. 7. 34	≈ 1 km ungl. H—T-Lage + evtl. Schwachw.	T_{SW}	Hb > Brm	nein Hb ≷ Brm: 0—25%
		≈ 3 km	T_{SW}—H_{NE}	Hb > Brm	kaum Hb ≷ Brm: 0—25%
		≈ 5 km	„ „	Hb > Brm, Hv	nein (eher entgegen) Hb ≶ Hv, Brm: 0—25%
2	18. 7. 34	≈ 1 km	H_W	Brm > Hb, Hv	*ja* Brm > Hv (>) Hb: 50—100%
3	21. 7. 34	≈ 1 km	T_{NE}	Hv ≷ Brm > Hb	*ja* Hv ≷ Brm > Hb: 26—100%
		≈ 3 km	T_{ESE}-H_{WNW}	Brm > Hv	nein Brm ≷ Hv: 0—25%
		≈ 5 km	T_{SE}—H_{NW}	Brm > Hv	*ja, nur geringe Untersch.* Brm ≷ Hv: 0—25%
4	24. 8. 34	≈ 1 km	≈ H_{NE}—T_{SW}	Hb > Hv	*evtl. ja, doch geringe Untersch.* Hb ≶ Hv: 0—25%
		≈ 3 km	≈ T_S—H_N	Hb > Hv	nein Hb ≷ Hv: 0—25%
		≈ 5 km	„ „	Hb > Hv	*ja, doch nur gering* Hb > Hv: 0—25%
5	3. 9. 34	≈ 1 km	H_{NW}—T_{SE}	Brm > Hb (>) Hv	*ja* Brm > Hb (>) Hv: 26—50%
		≈ 3 km	„ „	Brm > Hb, Hv	*ja* Brm > Hb (>) Hv: 26–100%
6	4. 9. 34	≈ 1 km	T_{SE}—H_{NW}	Brm > Hb, Hv	*nur teilweise* Brm ≷ Hb > Hv: 26—50%
		≈ 3 km	„ „	Brm > (Hb>) Hv	*ja* Brm (>) Hb > Hv: 26–100%
7	13. 9. 34	≈ 1 km	H_S	Hv > Hb	*ja* Hv > Hb: 26—100%
		≈ 3 km	„	Hv > Hb	*ja* Hv > Hb: 26—50%
		≈ 5 km	„	Hv > Hb	*ja* Hv > Hb: 26—50%
8	14. 9. 34	≈ 1 km	H_{SW}—T_{NE}	Hv > (Brm >) Hb	*ja* Hv (≷ Brm) > Hb: 26—50%
		≈ 3 km	„ „	Hv > (Brm >) Hb	nein Hv ≷ Brm ≷ Hb: 0—25%
		≈ 5 km	„ „	Hv > (Brm >) Hb	nein, eher entgegen Hb > Hv > Brm: 0—50%

Lfd. Nr.	Datum	Radiallage, zutreffend für welche Höhenlagen?	Barometrische Lage	Stationen, zueinander in Radiallage befindlich, u. wie sie sich i. bez. auf ihre Geschw. zueinander verhalten müßten	Die tatsächlich aus den Meßwerten gefundenen Vergleichsverhältnisse: a) Erwartungsgemäß? (ja — nein) b) Größe der Störungen
I	II	III	IV	V	VI
			Nordwest-Dreieck		
9	5. 3. 35	≈ 1 km ≈ 3 km } ?	H_{SW}—T_{Furche} H_{NE}—T_{Furche}	Hv, Brm > Hb Brm, Hv > Hb	? *nur teilweise* Hv > Brm > Hb: 26—50% (— 100%?)
	Nicht auswertbar wegen unzureichenden Materials. Die an sich bereits besondere Drucklage (T-Furche, m. d. Höhe stark verschoben) scheint auch rasche Änderungstendenz zu besitzen, so daß die Morgenkarte kaum noch für die am Nachmittag gemessenen Winde gelten kann.				
10	7. 3. 35	≈ 1 km	H_{SE}(—T_{NW})	Hv > Brm, Hb	*ja* Hv > Brm > Hb: 26—150%
		≈ 3 km	„ „	Hv > Brm	*ja* Hv > Brm: 0—25%
		≈ 5 km	„ „	Hv > Brm	**nein**, eher entgegen Brm > Hv: 0—25%
11	14. 3. 35	≈ 1 km	T_{NE}—H_{SW}	Brm (≷ Hv) > Hb	*ja* Brm (≷ Hv) > Hb: 26—50%
		≈ 3 km	„ „	Brm (≷ Hv) > Hb	*ja* Brm (≷ Hv) > Hb: 26–100%
		≈ 5 km	„ „	Brm > Hb	*ja* Brm > Hb: 26—50%
12	15. 3. 35	≈ 1 km	H_{WSW}-T_{ENE}	Brm > Hb	**nein**, eher entgegen Hb > Brm: 26—50%
		≈ 3 km	„ „	Brm > Hb	*ja* Brm > Hb: 26—100%
		≈ 5 km	„ „	Brm > Hb	*ja, aber gering* Brm > Hb: 0—25%
13	16. 3. 35	≈ 1 km	H_W—T_E	Brm > Hv, Hb	nicht feststellbar, da stark schwankend
		≈ 3 km	„ „	Brm > Hv, Hb	*ja* Brm > Hv (>) Hb: 26–100%
		≈ 5 km	„ „	Brm > Hv, Hb	*nur teilweise* Brm ≷ Hv > Hb: 0—50%
14	4. 5. 35	≈ 1 km	H_{SW}—T_{NE}	Hv, Brm > Hb	*ev. ja, doch geringe Untersch.* Brm ≷ Hv > Hb: 0—50%
		≈ 5 km	≈ H_{NE}- ≈ T_{NW}	Hb, Hv > Brm	*ja* Hb ≷ Hv > Brm: 26—150%
15	6. 5. 35	≈ 1 km (Isobarendivergenz!)	H_{WSW}—T_{NE}	Brm, Hv > Hb	*ja, teilweise* Hv > Hb ≷ Brm: 0—100%
		≈ 3 km (ungl. H—T-Lage + teilweise Kernlage	H_N	Hb > Brm	*ja* Hb > Brm: 51—150%
		≈ 5 km	„	H > (Brm >) Hv	*ja* Hb > Hv: 26—100%

Lfd. Nr.	Datum	Radiallage, zutreffend für welche Höhenlagen?	Barometrische Lage	Stationen, zueinander in Radiallage befindlich, u. wie sie sich i.bez. auf ihre Geschw. zueinander verhalten müßten	Die tatsächlich aus den Meßwerten gefundenen Vergleichsverhältnisse: a) Erwartungsgemäß? (ja — nein) b) Größe der Störungen
I	II	III	IV	V	VI
			Nordwest-Dreieck		
16	10. 5. 35	≈ 1 km (Hb Kernlage)	H_{SSW}	Hv > Brm	*ja*, aber nur geringe Untersch. Hv > Brm: 0—50%
		≈ 3 km (Hb Kernlage)	H_{SW}	Hv > Brm	*ja* Hv > Brm: 26—50%
17	29. 5. 35	≈ 1 km	$H_{SW}(—T_{NE})$	Brm > Hb	*ja* Brm > Hb: 51—150%
18	10. 6. 35	≈ 1 km	H_W	Brm > Hb, Hv	*ja, doch nicht vollständig* Brm ≳ Hb ≳ Hb: 0—50%
		≈ 3 km	H_{NW}	Brm > Hv	*ja* Brm > Hv: 0—50%
		≈ 5 km	H_N (?)	Hb ≳ Brm > Hv	*ja, doch geringe Untersch.* Hb ≳ Brm > Hv: 0—25%
19	23. 6. 35	≈ 1 km	H_{SSW}	Hv > Hb	**nein**, eher entgegen Hb > Hv: 26—50%
		≈ 3 km	„	Hv > Hb	**nein**, eher entgegen Hb ≳ Hv: 0—25%
		≈ 5 km	H_S	Hv > Hb	*ja* Hv > Hb: 0—25%
20	1. 7. 35	≈ 1 km	H_{SW}	Brm (≳ Hv) > Hb	*ja* Brm (≳ Hv) > Hb: 0—25 (50)%
			Südost-Dreieck		
1	6. 7. 34	≈ 1 km	T_{SW}	Brl > Dr	*ja* Brl > Dr: 26—50%
		≈ 3 km	„	Brl > Dr	*ja* Brl > Dr: 0—50%
2	8. 8. 34	≈ 3 km	$H_S(—T_N)$	evtl. Gl > Brl	*ja, doch nur geringe Untersch.* Gl > Brl: 0—25%
3	14. 9. 34	≈ 1 km	H_{SSE}	Gl ≳ Dr > Brl	**nein** Gl ≳ Dr ≳ Brl: 0—25%
4	24. 5. 35	≈ 1 km	T_{ESE}	Brl > Gl	*ja* Brl > Gl: 0—100%
		≈ 3 km	„	Brl > Gl	*ja* Brl > Gl: 26—50%
5	14. 6. 35	≈ 1 km	H_{WNW}-(T_{ESE})	Dr > Brl > Gl	*ja, doch nur teilweise* Brl > Gl ≳ Dr: 101—150% ! Dr bedeutend zu klein
		≈ 3 km	H_{WNW}-(T_{SE})	Brl > Gl	*ja* Brl > Gl: 51—100%
6	9. 8. 35	≈ 1 km	$T_{ESE}(—H_W)$	Dr > Brl > Gl	*ja, doch nur teilweise* Dr > Brl ≳ Gl: 0—50%
7	2. 9. 35	≈ 1 km	$T_{SE}(—H_{NW})$	Dr > Brl > Gl	*ja, doch nur teilweise* Brl > Gl ≳ Dr: 26—50% Dr zu klein!
		≈ 3 km	$(T_{SE}—)H_{NW}$	Brl > Gl	*ja* Brl > Gl: 26—50%

zu bringen waren. Wenn in diesen Fällen nicht überhaupt unsichere Höhenkarten eine hinreichend genaue Einsichtnahme in die Höhenwetterlage verhinderten — so waren als mögliche Ursachen für die Widersprüche entweder nicht repräsentative oder direkt fehlerhafte Windmeßwerte in Betracht zu ziehen (siehe erster Teil: Fehlermöglichkeiten bei Pilotwindmessungen, S. 11 ff.)

Derartige Widersprüche kamen aber im Vergleich zur Anzahl der insgesamt ausgewerteten Termine relativ selten vor.

Betrachtet man in Spalte VI die vorkommenden Abweichungen zwischen den verglichenen Windstärkewerten hinsichtlich ihrer Größe, so läßt sich zunächst allgemein feststellen, daß den bejahenden Fällen größere Störungen zukommen als den verneinenden. Damit kann man die Annahme, die Windstärke nehme mit einer gewissen Regelmäßigkeit zu in der Richtung zum tiefen Druck hin, auch als quantitativ bestätigt ansehen.

Hierzu die folgende kurze Zusammenstellung (nordwestdeutsches Material):

Bejahende Fälle (kursiv)			insgesamt 36
davon Stö	0 bis	25%:	7 Fälle
	„	50%:	15 „
	„	100%:	10 „
	„	150%:	4 „
„Verneinende"*) Fälle			insgesamt 11
davon Stö	0 bis	25%:	8 Fälle
	„	50%:	3 „

Die Auswertung unseres Höhenwindmaterials hat also tatsächlich bestätigt, daß in der Mehrzahl der Fälle zwischen Windmeßstationen in Radiallage derjenigen, die dem Tiefdruckgebiet näher liegt, die größere Geschwindigkeit zukommt und daß die vorkommenden Geschwindigkeitsunterschiede durchaus von nicht zu vernachlässigender Größenordnung sein können. Dabei ist aber zu beachten, daß bei Lage des Bezirkes zwischen zusammengehörigen größeren Hochs und Tiefs die Windstärkeänderung in der Horizontalen gering oder null werden kann, insbesondere bei geradlinigem Isobarenverlauf.

c) Zusammenfassung.

Bei benachbarten Stationen, die rund 100 km auseinanderliegen, besteht die Möglichkeit, daß die durch diesen gegenseitigen Abstand hinsichtlich der Lage zu den barometrischen Gebilden bestehenden Unterschiede Abweichungen zwischen den zu vergleichenden Windmeßwerten verursachen.

Diese Frage war für die Vergleichsverhältnisse der Windgeschwindigkeit zu prüfen. Das geschah einmal für Radiallage, zum anderen für Isobarenlage.

Für in Isobarenrichtung voneinander entfernte Meßorte waren bestimmte Regelmäßigkeiten derart, daß man z. B. beim Fortschreiten von einem Sektor einer Zyklone zum anschließenden mit einer bestimmten Windstärkeänderung rechnen könnte, an unserem Material nicht festzustellen, jedenfalls nicht für so schmale Sektoren, wie sie durch Abstände von der

*) Diese „verneinenden" Fälle bestehen zum größten Teil aus Terminen mit „Zwischenlage", aus denen der besondere Zusatz abgeleitet wurde (siehe S. 64 unten) und nur zum kleineren Teil aus widersprechenden Vergleichsverhältnissen.

Größenordnung 100 km bestimmt sind. Für in Gefällerichtung angeordnete Vergleichsstationen dürften dagegen eher einige Angaben von einer gewissen allgemeinen Gültigkeit möglich sein. Über die allgemeine Geschwindigkeitsverteilung auf einer Verbindungslinie zwischen einem Tief und dem benachbarten Hoch (also senkrecht zu den Isobaren) ist etwa folgendes zu sagen: Die Windgeschwindigkeit nimmt gewöhnlich in der Richtung nach dem tiefen Druck hin zu. Diese Windstärkeänderungen sind am größten auf den beiden Enden der (gedachten) Verbindungslinie, d. h. im Wirkungsbereich des dazugehörigen Hochs und Tiefs, und zwar im letzteren größer als im ersten. Bei weitläufig gleichförmigem Isobarenverlauf zwischen weit auseinanderliegenden barometrischen Zentren sind die Windstärkeänderungen auf dem Mittelteil der Verbindungslinie meist gering oder annähernd null.

In diesem vorstehenden zweiten Teil wurde versucht, den Einfluß der wichtigsten Eigenarten der Isobarenkarten auf die Großstruktur des Stromfeldes über den gewählten Bezirken zu charakterisieren.

Als Hauptstörungsursachen ließen sich deren fünf herausstellen:

I. Kernlage oder -nähe (typisch für Richt-Stö).
II. Flaches Druckgefälle — Schwachwindigkeit (Richt- und Geschw-Stö).
III. Enge Isobarenkrümmungen und -knicke (Richt-Stö).
IV. Sprungschichten (Richt- und Geschw-Stö).
V. Unterschiedliche Lage und Entfernung der Stationen zu den Zentren barometrischer Gebilde (insbes. typisch für Geschw-Stö).

Von diesen möglichen Voraussetzungen werden in der Natur meist mehrere zugleich gegeben sein; bei der Materialauswertung waren sie dagegen bestmöglich voneinander getrennt zu untersuchen, um ihren Einfluß im einzelnen prüfen zu können. — Zur Beurteilung der Störungen, die für Gruppe II und IV charakteristisch sind, genügen im allgemeinen die Höhenwindmeßwerte eines Aufstieges, eventuell in Verbindung mit der Bodenkarte, während für die übrigen drei Gruppen die Kenntnis der Druckverteilung in der Höhe nötig ist.

Es wurde versucht, anzugeben, ob bei typischen Voraussetzungen hinsichtlich der Wetterlage im Mittel mit gewissen typischen Vergleichsverhältnissen zu rechnen ist. Bezüglich der Ergebnisse sei auf die Einzelabschnitte (Zusammenfassungen) verwiesen.

Wenn der Gleichförmigkeitsgrad des Stromfeldes in seiner Abhängigkeit von der herrschenden Wetterlage beurteilt werden soll, ist es wichtig, den Verlauf der Druckverteilung mit der Höhe, d. h. eventuelle wesentliche Veränderungen nach oben zu kennen.

Dritter Teil.

MÖGLICHKEITEN ZUR BEURTEILUNG DES STRÖMUNGSFELDCHARAKTERS IN DER ABHÄNGIGKEIT VON DER WETTERLAGE.

Die im zweiten Teil dieser Arbeit beschriebenen Untersuchungen haben gezeigt, welche Faktoren den jeweiligen Gültigkeitsbereich von Höhenwindmessungen hauptsächlich bestimmen. Es bot sich genügend Gelegenheit zu der Feststellung, daß die Voraussetzungen, welche Störungen der Vergleichsverhältnisse hervorrufen, und damit die letzteren selbst im Einzelfall starken Schwankungen unterliegen können, und zwar nicht nur von einem Termin zum anderen, sondern häufig kommen sogar zwischen den einzelnen Höhenlagen ein und desselben Termins bedeutende Unterschiede vor (S. 25 f.).

Es erhebt sich nun die wichtige Frage: Wie erhält man im Einzelfall den erforderlichen Überblick über den jeweils bestehenden Zustand des Strömungsfeldes über dem interessierenden Gebiet? Welcher von den dafür in Betracht kommenden Möglichkeiten man sich bedienen wird, hängt von den Hilfsmitteln ab, die zur Verfügung stehen. — Die folgenden Ausführungen befassen sich mit der Beurteilung der Wetterlage, wie sie zur Bestimmung des jeweiligen Gültigkeitsbereiches von Höhenwindmessungen erforderlich ist; und zwar wird zunächst die Annahme gemacht, daß dafür die normalen Höhendruckkarten zur Verfügung stünden (Abschnitt A) — danach wird versucht, Wege anzugeben, auf denen zu einer Diagnose der Höhenwetterlage nur unter Verwendung von Bodenbeobachtungen zu gelangen ist (Abschnitt B).

A. DIE BEURTEILUNG DER WETTERLAGE AN HAND VON HÖHENDRUCKKARTEN.

Aus den im zweiten Teil beschriebenen Untersuchungen geht hervor, daß die Abhängigkeit der Stromfeldstruktur von der jeweiligen Wetterlage in erster Linie im Druckbild zum Ausdruck kommt und daß daher bei der hier gestellten Aufgabe die Hauptbedeutung den Druckkarten zukommt, und zwar insbesondere denen für die höheren Niveaus, weil nicht selten das Druckfeld im vertikalen Verlauf bedeutenden Änderungen unterworfen ist.

Am günstigsten ist es daher natürlich, wenn für die beabsichtigte Diagnose der Höhenwetterlage die regelrechten Höhenkarten zur Verfügung stehen, die durch Auswertung der täglichen Aufstiege an den aerologischen Stationen gewonnen werden.

Solche sind uns bekannt in den absoluten Topographien der Hauptisobarenflächen, wie sie z. B. in dem vom Flugwetterdienst Tempelhof herausgebrachten „Höhenwetter"*), ferner im täglichen Witterungsbericht der Hamburger Seewarte — hier allerdings nur für die 500-mb-Fläche — zur Darstellung gelangen. Die Seewarte bringt neben dieser Karte, welche die Druckverhältnisse in etwa 5½ km Höhe zeigt, für die zwischenliegenden Hauptdruckflächen die fertig berechneten Höhenwerte in Tabellen, mit deren Hilfe weitere Höhendruckkarten für den Raum: Boden bis 5½ km Höhe gezeichnet werden können; wie schon mitgeteilt, wurde dieses Material auch zur Anfertigung der Höhenwetterkarten der vorliegenden Arbeit verwendet (siehe S. 26). — Seit Herbst 1937 wird im öffentlichen Wetterdienst täglich die Höhenlage der 500-mb-Fläche, wie sie die Morgenaufstiege ergeben haben, nach einem besonderen Schlüssel ausgestrahlt.

Für den Fall also, daß Höhendruckkarten vorhanden sind, dürfte die Beurteilung des jeweiligen Stromfeldcharakters nicht besonders schwierig sein. Diejenigen Sonderheiten des Isobarenverlaufes, mit denen im allgemeinen größere Unstetigkeiten im horizontalen Windfeld einhergehen, wurden im zweiten Teil dieser Arbeit herausgestellt und ausführlich besprochen (S. 29—69).

Schließlich seien an dieser Stelle noch einige Bemerkungen zu der für unsere Zwecke nötigen Genauigkeit der Höhendruckkarten eingefügt. Wenn auch die Genauigkeit, mit welcher derzeit die Isohypsen für höhere Druckflächen gezeichnet werden können, noch immer als sehr verbesserungsbedürftig bezeichnet werden muß, so kann man aber gerade in unserem Falle diesbezüglich in gewisser Weise etwas großzügiger sein. Es ist ja hier nicht beabsichtigt, aus Verlauf und Abstand der Höhenisobaren den Gradientwind nach Richtung und Stärke zu bestimmen, sondern wir wollen uns lediglich über die Struktur des Druck- bzw. Stromfeldes, d. h. über dessen jeweiligen Gleichförmigkeitsgrad, Aufschluß verschaffen.

Natürlich kann eine bestmögliche Genauigkeit der Höhenisobaren, wie sie durch ein dichtes Netz aerologischer Meßstationen zu erreichen ist, auch für unsere Zwecke nur erwünscht sein; aber es ist dabei zu bedenken, daß die Anfertigung der Karten um so mehr Zeit in Anspruch nimmt, je reichhaltiger das auszuwertende Material wird, d. h. daß damit die Zeitspanne zwischen Messungstermin und der fertig vorliegenden Karte wächst.

Und dies ist auch der Grund dafür, daß in der Praxis oft auf die Verwendung der Höhenwetterkarten überhaupt verzichtet werden muß; und zwar gilt das für all die Fälle, bei denen es darauf ankommt, im Anschluß an vorgenommene Höhenwindmessungen möglichst rasch die erforderlichen Aussagen über den Zustand der Atmosphäre im Bereich des interessierenden Gebietes zu machen und wobei das Eintreffen der mehr oder weniger zahlreichen Wettermeldungen und die Fertigstellung der Höhenkarten nicht abgewartet werden kann. — Überdies können mitunter auch wegen Materialmangels keine sicheren Höhenisobaren entworfen werden; denn obwohl die Wetterflieger heute mit bewunderungswürdiger Regelmäßigkeit ihre Meßflüge durchführen, so kommen doch noch genug Tage vor, an denen wegen

*) Bisher nur probeweise vom November 1936 bis Juni 1937.

besonders schlechten Wetters ein Teil der planmäßigen Höhenaufstiege ausfällt.

Die Bodenwetterkarte dagegen ist auch von kleineren Wetterstationen ohne besondere Schwierigkeiten und in verhältnismäßig aktuellem Zustand zu beschaffen — sei es, daß man sie fertig von der nächsten größeren Wetterdienststelle bezieht, oder sei es, daß die dazu nötigen Unterlagen am Pilotaufstiegsort selbst drahtlos aufgenommen und zur Karte ausgearbeitet werden. Da die Bodendruckverteilung aber oft von sehr wechselnder Höhengültigkeit ist, so ist es für die Diagnose des Stromfeldcharakters in der Höhe immer erforderlich, für jeden Einzelfall festzustellen, ob das Druckbild — das die Bodenkarte zeigt — etwa nach oben wesentliche Veränderungen erfährt und welcher Art diese sind.

Für die im folgenden Abschnitt gemachten Ausführungen ist angenommen, daß für die Beurteilung der Höhenwetterlage keine aktuellen Höhendruckkarten zur Verfügung stehen. Gegeben sei die Bodenwetterkarte, und es wird versucht, die Höhengültigkeit der Druckgebilde im wesentlichen auf dem Wege der Luftmassenanalyse ohne direkte Messungen aus der freien Atmosphäre in mehr oder weniger mittelbarer Weise zu beurteilen.

B. DIE BEURTEILUNG DER WETTERLAGE OHNE AKTUELLE HÖHENDRUCKKARTEN, MIT HILFE DER BODENWETTERKARTE.

I. Vorbemerkungen.

Vergleicht man die horizontale Druckverteilung in zwei übereinanderliegenden Niveaus, so wird in der oberen Höhenlage das Druckbild der unteren unverändert nur dann vorzufinden sein, wenn die Mitteltemperatur der zwischenliegenden Luftmassen über dem ganzen Gebiet dieselbe ist*). Anderenfalls zeigen Druckkarten für verschiedene Niveaus Unterschiede, welche unmittelbar von der Temperaturverteilung in den Zwischenschichten abhängig sind und die man sich jeweils leicht unter Beachtung der Tatsache klarmachen kann, daß in kalten Luftsäulen der Druck mit der Höhe rascher abnimmt als in warmen.

Zwei nebeneinanderliegende Orte können nun ungleiche Mitteltemperaturen der über ihnen lagernden Luftschichten aufweisen einmal dadurch, daß die Ausgangstemperaturen (Boden) ungleich sind, und zum anderen dadurch, daß der vertikale Temperaturgradient über beiden Orten nicht der gleiche ist.

Wenn man an Hand der Wetterkarten das wechselvolle Geschehen in der Atmosphäre verfolgt, wird klar, daß derartige Voraussetzungen gerade in unseren Breiten recht häufig gegeben sind, nämlich bei all den Wetterlagen, wo mehr oder weniger verschiedenartige Luftkörper nebeneinander lagern. Die letzteren zeigen je nach ihrer Herkunft und Lebensgeschichte ganz bestimmte typische Unterschiede in fast allen meteorologischen Eigenschaften; und zwar gilt dies ganz besonders auch für die Temperaturverhältnisse, und

*) Der Einfluß des Wasserdampfgehaltes der Luft auf deren Dichte ist sehr gering und wird in der praktischen Meteorologie im allgemeinen vernachlässigt.

nicht nur hinsichtlich des allgemeinen Wärmegehaltes, sondern auch bezüglich des ganzen thermischen Aufbaues (vert. Temp.-Grad.).

Im Hinblick auf die Bedeutung, die der Temperaturverteilung für den vertikalen Druckverlauf zukommt, muß es also möglich sein, ohne direkte Druckmessungen aus der freien Atmosphäre auf die Verteilung des Luftdruckes in höheren Niveaus zu schließen, sofern neben der Bodendrucklage die Mitteltemperaturen für die betreffende Schicht bekannt sind. Natürlich wäre es kein Gewinn, würden dafür die Höhentemperaturen gefordert, die bei den aerologischen Aufstiegen gewonnen werden. Denn auf diese wollten wir ja hier bewußt verzichten. Doch kann auf die Temperaturverteilung in den die Druckgebilde zusammensetzenden Luftmassen auf eine mehr oder weniger mittelbare Weise geschlossen werden: In erster Linie durch die Luftmassenanalyse und ferner durch Beachtung besonderer Eigenschaften der Luftdruckgebilde, die deren Vertikalaufbau angehen, sich aber auf der Bodenwetterkarte zu erkennen geben.

Es war ursprünglich beabsichtigt, dieser Aufgabe — Beurteilung der Höhenwetterlage ohne Hilfe der Höhenkarten — hier eine eingehende Bearbeitung zukommen zu lassen. Daher wurde auch bei der Untersuchung der Wetterlagen, die zu den im zweiten Teil ausführlich behandelten Einzelfällen gehören (38 Termine), dieser Frage eine besondere Beachtung geschenkt und bei jedem Termin geprüft, ob und in welchem Maße die Höhendrucklage nur vom Boden aus hätte beurteilt werden können.

Es ergab sich aber, daß eine auch nur einigermaßen vollständige Behandlung dieses Gegenstandes weit über den Rahmen dieser Dissertation hinausreichen würde. Es können daher nur in Form einer kurzen Übersicht die Möglichkeiten angeführt werden, die nach allgemeinen Betrachtungen über das Wesen der Druckgebilde sowie nach den bei der Materialauswertung gemachten Beobachtungen für eine Diagnose des Höhenwetters geeignet erscheinen.

II. Über die allgemeine Konstitution der Druckgebilde und Methoden zu deren Diagnose im Einzelfall.

Aus der Tatsache, daß die Druckabnahme mit der Höhe in kalten Luftsäulen schneller als in warmen erfolgt, ergibt sich grundsätzlich, daß kalte Zyklonen und warme Antizyklonen hochreichend und entsprechend warme Tiefs und kalte Hochs flach sein müssen (kalt bzw. warm in den unteren Atmosphärenschichten).

In der Atmosphäre kommen beide Arten vor[13]). Der Sitz der Vorgänge, welche die Druckformen am Boden verursachen, befindet sich bei den seichten Druckgebilden in den unteren Atmosphärenschichten selbst, bei den hohen dagegen sind sie in der Stratosphäre zu suchen. Sind die ersteren rein thermisch bedingt, so weiß man bei den hohen Zyklonen und Antizyklonen heute noch nicht sicher, ob bei diesen nicht auch dynamische Effekte hinzutreten[13,14]). Nach Exner entstehen die hohen Depressionen und Antizyklonen meist aus den niedrigen und sind ein späteres Entwicklungsstadium derselben[15]). Dies gilt vor allem für die Antizyklonen: In Europa treten viele Hochdruck-

gebiete als „kalte“ auf und enden als „warme“. Bei den Tiefdruckgebieten scheinen die Verhältnisse ähnlich zu liegen, doch kann man darüber heute mit Sicherheit noch keine vollständigen Aussagen machen[16], [22]). Die seichten Hochs und Tiefs bilden sich mit den wechselseitigen Vorstößen kalter und warmer Luft an der Grenzfläche zwischen nebeneinanderfließenden ungleich temperierten Luftströmen[17]) und stehen somit im unmittelbaren Zusammenhang mit dem Luftaustausch zwischen hohen und niederen Breiten.

Eine wichtige Eigenschaft der Druckgebilde ist die, daß sie häufig eine mehr oder weniger ausgeprägte Temperaturasymmetrie aufweisen. Setzt sich ein Hoch oder ein Tief aus verschieden temperierten Luftmassen zusammen, so ist seine Achse — das ist die Verbindungslinie der Druckextreme in den einzelnen Höhen — zum Horizont geneigt; und zwar bei der Zyklone zu deren kaltem Teil, bei der Antizyklone zum warmen Teil hin. — Diese asymmetrische Temperaturverteilung in den unteren Schichten ist im allgemeinen eine für die niedrigen Depressionen und Antizyklonen typische Erscheinung[18]): Die Ostseite der Depression ist warm, ihre Westseite kalt; letztere geht über in die kalte Ostseite der nachfolgenden Antizyklone, während sich in deren westlichen Teilen wieder wärmere Luftmassen vorfinden, entsprechend den Richtungen, aus denen die Winde herangeführt werden[19], [8]). Daraus resultiert die bekannte Rückwärtsneigung (nach Westen) der flachen Tiefs und Hochs. — Bei den hohen Druckgebilden ist gewöhnlich der Unterschied in der Temperatur der Quadranten und daher die Neigung der Achse geringer[20]).

Ein weiterer wesentlicher Unterschied zwischen den niedrigen und den hochreichenden Depressionen und Hochdruckgebieten besteht darin, daß die ersteren sich gewöhnlich mehr oder weniger schnell fortbewegen — die in ihnen vorhandenen Temperaturdifferenzen liefern die erforderliche Bewegungsenergie — während die hohen die Tendenz zum Stationärwerden haben[9]). — In diesem Zusammenhang unterscheidet Schinze [40]) zwischen „thermischen“ und „stationären“ Zyklonen und sagt hinsichtlich deren entwicklungsgeschichtlicher Zusammengehörigkeit, von der wir oben bereits sprachen: „Eine thermische Zyklone, die mit großem warmen Sektor ihren Lebenslauf begonnen hat, wird im Augenblick der Okklusion bereits eine starke zyklonale Windzirkulation ausgebildet haben, sie strebt in der weiteren Entwicklung einem Wirbel in hydrodynamischem Sinne zu, wird zur stationären (thermisch toten) Zyklone“.

Und schließlich sei noch ein drittes Merkmal angeführt, durch das sich die hochreichenden Druckgebilde von den flachen unterscheiden und das sich auf das Verhalten der Druckfall- und -steiggebiete bezieht: Von solchen Hochs und Tiefs, welche auf die wandernden 24stündigen isallobarischen Gebilde eine steuernde Wirkung ausüben, kann man annehmen, daß sie bis in große Höhen reichen. Hierfür ist gerade das Verhalten der 24stündigen Druckänderungsgebiete deshalb wichtig, weil diese im allgemeinen in stratosphärischen Vorgängen ihre Ursache haben und ein von den Druckgebilden der unteren Atmosphäre unabhängiges Dasein führen[23], [10]). In den dreistündigen Druckänderungen kommen dagegen im wesentlichen die Versetzungen verschieden temperierter Luftmassen in der Troposphäre

zum Ausdruck; sie sind „selbstverständliche Begleiterscheinungen" der beweglichen Druckgebilde und werden im praktischen Wetterdienst zur Wegbestimmung der Zyklonen und Antizyklonen verwendet (Tendenzkarten). — Bei derartigen „Steuerungszentren" handelt es sich immer um mehr oder weniger umfangreiche Druckgebilde, die ohne wesentliche Lageveränderung an Ort und Stelle verharren.

Wenn wir nun zu unserer Aufgabe — Beurteilung der Höhenwetterlage (bis ca. 5 km) ohne Höhenkarten — zurückkehren, so weisen die obigen Ausführungen auf verschiedene Möglichkeiten hin, die zu deren Lösung gegebenenfalls nützlich sein können. Das Hauptziel ist ja, im Einzelfall zu bestimmen, ob es sich bei den Depressionen und Antizyklonen, welche die Bodenwetterkarte zeigt, um hochreichende barometrische Gebilde handelt oder nicht — und ferner, ob mit der Höhe wesentliche Verschiebungen oder gar Umgestaltungen vorkommen, durch welche die Vergleichsverhältnisse zwischen benachbarten Windmeßstationen beim Übergang auf höhere Schichten wesentliche Veränderungen erfahren könnten.

Die Möglichkeiten, die für die beabsichtigte Analyse der Höhenwetterlage in Betracht kommen, seien im folgenden kurz zusammengestellt; stichwortartig sind die zu verwendenden Hilfsmittel mitgeteilt und was an ihnen hauptsächlich geprüft werden muß.

Es ist zu untersuchen:

a) Die Temperaturverteilung in den Luftmassen, welche die Druckgebilde zusammensetzen, um der letzteren Höhengültigkeit und eventuelle Verlagerungen der Druckextreme mit der Höhe zu ermitteln.

Bodenkarte der Vortage und des Termines: Diskontinuitäten im Temperatur- und Windfeld, Niederschlagsgebiete. (Hinsichtlich der Bodentemperaturangaben ist zu beachten, daß diese oft nicht repräsentativ sind: Bodenkaltluftschichten zu Zeiten starker Ausstrahlung, Bodenüberhitzungsschichten bei starker Einstrahlung; langer Weg über anders temperierte Unterlage.) — Zur Abschätzung der Höhentemperaturen ist insbesondere zu prüfen, aus welchen Richtungen die Quadranten der Druckgebilde ihre Luftmassen beziehen, welcher Herkunft die letzteren sind und wieweit sie ihre ursprünglichen Eigenschaften erhalten haben mögen (Entfernung vom Entstehungsgebiet).

b) Die Verlagerungstendenz der barometrischen Gebilde (stationär oder beweglich), woraus ebenfalls auf den Verlauf der Druckverteilung mit der Höhe geschlossen werden kann (siehe S. 74 Mitte).

Vergleich der Druckkarten der Vortage bis einschließlich zum Termin, gegebenenfalls Mitverwendung der Tendenzkarten (dreistündige Isallobaren).

c) Das Verhalten der 24stündigen Druckänderungsgebiete, das desgleichen in mittelbarer Weise Aufschluß über die Höhengültigkeit der barometrischen Gebilde geben kann (S. 74 unten).

Isallobarenkarten (24stündig).

d) Das Hydrometeorenfeld.

Bodenwetterkarte des Termines: Aus der Lage der Wolkenfelder und der Aufheiterungszonen kann auf die Wetterwirksamkeit und damit auch in gewisser Weise auf die Höhengültigkeit der barometrischen Gebilde geschlossen werden. — Dies gilt vor allem für Antizyklonen, und als recht zuverlässig erwies sich insbesondere der Leitsatz, daß Hochdruckgebiete der Bodenkarte nur dann auch in der Höhendruckverteilung richtig ausgeprägt sind, wenn in ihrem Bereich ein wirklich wolkenfreies Gebiet angetroffen wird. Das letztere fällt bei Hochs, deren Druckextreme sich mit der Höhe verschieben, gewöhnlich nicht mit dem Kerngebiet am Boden zusammen, zeigt vielmehr mit seiner Lage an, wo der zentrale Teil der Antizyklone in der Höhe zu suchen ist.

e) Die an der Windmeßstation direkt zu beobachtenden Witterungserscheinungen.

Verhalten von Druck, Bodenwind, Temperatur, Feuchte, Himmelszustand (Instrumente und Augenbeobachtungen).

Und schließlich kann die Pilotwindmessung selbst, deren Gültigkeitsbereich bestimmt werden soll, sehr nützliche Anhaltspunkte für die Analyse der Stromfeldstruktur über dem Meßort geben: Im zweiten Teil wurde bereits angeführt, wie aus dem vertikalen Verlauf der Werte einer Pilotmeßreihe auf den Gleichförmigkeitsgrad der Strömung (Oszillationen) (siehe S. 35) und insbesondere auch auf eventuell vorhandene Schichtungen geschlossen werden kann (siehe „Sprungschichten", S. 50 ff.).

Natürlich wird man auf dem hier angedeuteten Wege keineswegs zu einer exakten Bestimmung der Höhenwetterlage gelangen; das ist jedoch für unsere Zwecke auch gar nicht notwendig. So wie nicht derart detaillierte Höhendruckkarten gefordert werden brauchen, daß ihnen der Gradientwind nach Richtung und Stärke zu entnehmen wäre, so kann die Kenntnis der Luftmassentemperatur in nur großen Zügen genügen, wenn es damit bloß möglich ist, gegebenenfalls vorhandene bedeutende Temperaturgegensätze zwischen den die Druckgebilde zusammensetzenden Luftmassen festzustellen. Man kann dann abschätzen, in welchem Grade die Druckverteilung — welche die Bodenkarte zeigt — höhengültig ist, d. h. ob und welche wesentlichen Veränderungen sich im Verlauf und Abstand der Isobaren beim Übergang auf höhere Schichten einstellen, und damit, welche Vergleichsverhältnisse zwischen den Höhenwinden benachbarter Wetterstationen zu erwarten sind.

Dabei ist neben der Verwendung der erreichbaren „aktuellen" Wettermeldungen, die sich auf die derzeitige, zu untersuchende Wetterlage selbst beziehen, vor allem auch die Einsichtnahme in die vorangegangene Entwicklung notwendig.

Überhaupt gilt wie allgemein im praktischen Wetterdienst natürlich auch hier, daß immer derjenige Meteorologe die zuverlässigsten Aussagen über das herrschende und das kommende Wetter machen kann, der fortlaufend den Ablauf des atmosphärischen Geschehens von Tag zu Tag verfolgt und miterlebt.

Bei der vorstehenden Diskussion über die Möglichkeiten, die eine Beurteilung des räumlichen Strömungsfeldes mehr oder weniger nur vom Boden aus erlauben, konnten die in diesem Zusammenhang sich ergebenden Fragen nur kurz gestreift werden. Verfasser hält es aber für eine lohnende Sonderaufgabe, die hier angeführten Methoden näher auf ihre praktische Verwendbarkeit hin zu untersuchen und gegebenenfalls weitere brauchbare Möglichkeiten zur Analyse des Höhenwetters ausfindig zu machen. Denn diese dürften mit der obigen Aufstellung gewiß noch nicht erschöpft sein. Als ein Beispiel sei nur erwähnt, daß sich aus der Streichrichtung der Wogenwolken — wie S ü r i n g sagt[42]) — auf die Strömung über und unter der Grenzfläche schließen läßt; es wäre denkbar, daß sich dies auch für unsere Zwecke nutzbar machen ließe.

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß es sich hier um ein Problem handelt, dem — namentlich in der etwas erweiterten Fassung: Wetterdiagnose und -prognose mit möglichst wenig fremder Hilfe — eine durchaus auch allgemeine Bedeutung zukommt; so vor allem auch im Kriegsfalle, wenn dem Meteorologen wegen unvollständiger Wetterkarten der gewohnte Überblick über die großräumige Verteilung des Wetters mehr oder weniger stark eingeengt ist.

ZUSAMMENFASSUNG.

In der vorliegenden Arbeit wird versucht, zur Frage des Gültigkeitsbereiches von Höhenwindmessungen einen Beitrag zu liefern.

Die Untersuchungen beziehen sich auf die Luftströmungen bis 5 km Höhe. — Um Einblick in die Verhältnisse zu gewinnen, die den Gültigkeitsbereich einzelner Höhenwindmessungen bestimmen, wurden die Meßreihen von an benachbarten Windmeßstellen gleichzeitig ausgeführten Pilotaufstiegen miteinander verglichen.

Es war beabsichtigt, dafür Stationsabstände von der Größenordnung 100 km zugrunde zu legen; und zwar sollten zwei Stationsdreiecke gewählt werden, eines im küstennahen nordwestdeutschen Flachland, das andere möglichst weit landeinwärts, in Südostdeutschland, um, wenn möglich, festzustellen, ob zwischen dem Stromfeld in Meernähe und dem in Kontinentallage, was die Vergleichsverhältnisse zwischen den benachbarten Meßorten anbelangt, typische Unterschiede auftreten. Zur Prüfung speziell dieser Frage erwies sich jedoch das zur Verfügung stehende Material als nicht geeignet.

Zu einem Küstenbezirk ließen sich die Stationen Hamburg, Hannover und Bremen recht gut nach den geforderten Voraussetzungen zusammenschließen; für den Binnenbezirk aber, in dem die beiden schlesischen Aufstiegsstellen Breslau und Gleiwitz hinsichtlich ihres gegenseitigen Abstandes (150 km) noch als einigermaßen brauchbar angesehen werden konnten, war die Wahl einer geeigneten dritten Station schwierig. Es konnte nur das sehr ungünstig gelegene Dresden verwendet werden, womit dieses Stationsdreieck eine mit dem in Nordwestdeutschland kaum vergleichbare Form erhält (siehe

Skizze S. 8). — Deshalb und weil außerdem das Material der südostdeutschen Meßorte in bezug auf gleichzeitige hohe Aufstiege sehr unvollständig ist, wurden die im Rahmen der Themabearbeitung vorzunehmenden Untersuchungen im wesentlichen an den Höhenwindmessungen aus dem nordwestdeutschen Stationsdreieck durchgeführt, die Messungen des südostdeutschen dagegen mehr oder minder nur zur Ergänzung verwendet.

Es war von vornherein anzunehmen, daß die Vergleichsverhältnisse zwischen benachbarten Windmeßorten im Einzelfall verschieden sein können, entsprechend dem mit der Wetterlage wechselnden Charakter der Stromfeldstruktur. Das Ziel dieser Arbeit war, die einzelnen Faktoren, welche für die veränderlichen Vergleichsverhältnisse verantwortlich zu machen sind, qualitativ herauszustellen und — soweit möglich — deren quantitativen Einfluß kennenzulernen, damit man im Einzelfall beurteilen kann, welcher Gültigkeitsbereich einer vorgenommenen Pilotwindmessung zuzusprechen und wieweit sie als repräsentativ für das Stromfeld in der Umgebung des Meßortes anzusehen ist.

Im ersten Teil wurden, nachdem zunächst über die Auswahl der verwendeten Höhenwindmessungen berichtet worden war, einige allgemeine Betrachtungen hinsichtlich der Art und der Eigenschaften der durch Pilotvisierungen gewonnenen Meßwerte angestellt und die letzteren bezüglich ihrer speziellen Eignung für die vorzunehmenden Untersuchungen kritisch geprüft. Hierbei war zunächst einmal darauf hinzuweisen, daß die infolge des optischen Meßverfahrens mehr oder weniger immer vorhandene Einseitigkeit des durch Pilotaufstiege gewonnenen Materials — bestehend in der Bevorzugung von Schönwetterlagen — in unserem Fall noch dadurch verstärkt wird, daß nur Termine verwendet wurden, bei denen die Wetterlage an allen drei Stationen eines Bezirkes hohe Aufstiege bis mindestens 5 km hinauf zuließ. — Danach wurde die repräsentative Geltung des einzelnen Meßwertes für die tatsächliche Strömung diskutiert. Diese wird beeinträchtigt: erstens durch beträchtliche Abweichungen von der angenommenen Steiggeschwindigkeit der Ballone (dadurch direkt fehlerhafte Werte) und zweitens durch größere (reelle) Augenblicksabweichungen des Windes vom zeitlichen Mittelwert (Neigung der Strömung zu Oszillationen). Der erstgenannte Mangel haftet nur den Einfachanschnitten an — in vorliegender Arbeit kamen nur solche zur Verwendung — der zweite läßt sich auch durch Mehrfachanschnitte nicht vermeiden. Am Schluß dieses zusammenfassenden Abschnittes wird noch darauf hingewiesen, wie man etwa besser geeignetes Material erhalten könnte.

Nach einem Bericht über die am Material durchgeführten vorbereitenden Arbeiten wurde in der zweiten Hälfte dieses Teiles ein Überblick über die in den beiden Strömungsgebieten vorgefundenen Vergleichsverhältnisse gegeben. Es wurde eine Einteilung aufgestellt, deren einzelne Gruppen sich zur Zusammenfassung gleichartiger Fälle eigneten. Dabei bestätigte sich, daß — wie vermutet — die Vergleichsverhältnisse zwischen benachbarten Windmeßstationen im Einzelfall sehr verschieden sein können, und zwar insbesondere auch zwischen den einzelnen Höhenschichten ein und desselben Termines.

Die letztere Tatsache, die aus der mit der Höhe häufig stattfindenden Veränderung des Druckbildes resultiert, gab den Leitgedanken für die Untersuchungen des zweiten Teiles, in dem der Zusammenhang der jeweiligen Vergleichsverhältnisse mit dem allgemeinen Witterungscharakter zu analysieren war: Bei der Prüfung der zu den Terminen gehörigen Wetterlagen (38 Einzelfälle) wurde die Abhängigkeit des Stromfeldgefüges von der horizontalen Druckverteilung getrennt nach Höhenlagen untersucht unter Verwendung von Höhendruckkarten in verschiedenen Niveaus. Die Arbeiten, die den Einfluß der wichtigsten Eigenarten der Isobarenkarten auf die Struktur des Stromfeldes über den gewählten Bezirken charakterisieren sollten, ließen im wesentlichen 5 Hauptursachen herausstellen, welche der Gleichförmigkeit der Strömung abträglich sind und den Gültigkeitsbereich einzelner Höhenwindmessungen beeinträchtigen; sie sind am Ende des zweiten Teiles noch einmal zusammengestellt (siehe S. 69).

Im Verlaufe des dritten Teiles wurden kurz die Möglichkeiten diskutiert, welche in der Praxis zu einer Diagnose der im Einzelfall herrschenden Wetterlage, und zwar in der Höhe, führen können, wie sie zur Beurteilung des jeweiligen Stromfeldcharakters notwendig ist.

Bevor diese Arbeit abgeschlossen wird, erscheint es angebracht, noch einmal kurz auf das verwendete Höhenwindmaterial zurückzukommen und einige Bemerkungen darüber anzufügen, wie gegebenenfalls ein für unsere Zwecke besser geeignetes Material zu gewinnen wäre.

Was zunächst einmal die Schwierigkeiten anbelangt, die bei der Wahl eines zu dem Küstenbezirk passenden Stationsdreieckes in Südostdeutschland auftraten, so würde es heute unter Umständen möglich sein, an Stelle von Dresden eine zu Breslau und Gleiwitz günstiger gelegene dritte Station von den in den letzten Jahren eingerichteten Fliegerhorsten auszuwählen.

Weniger einfach werden die Mängel abzustellen sein, die unmittelbar durch die Eigenarten des Pilotmeßverfahrens bedingt sind. Bei unseren Untersuchungen, mit denen stets Einzelwerte miteinander verglichen wurden, machte sich die mangelnde Genauigkeit der Pilotmeßwerte sehr störend bemerkbar. Sofern diese durch Abweichungen von der bei Einfachanschnitten konstant angenommenen Steiggeschwindigkeit der Ballone bedingt ist, könnte dieser Unzulänglichkeit durch die Verwendung von Mehrfachanschnitten noch am leichtesten abgeholfen werden. Doch kommt auch den Einzelwerten einer durch mehrfach visierte Ballone gewonnenen Meßreihe eine nur beschränkte repräsentative Bedeutung für die Strömung zu — und zwar wegen der Schwankungstendenz des Windes, durch welche nicht wirkliche Fehler, sondern „reelle Augenblicksabweichungen vom zeitlichen Mittelwert" entstehen (S. 15 f.); mit anderen Worten: die Pilotwindmessung ist nicht Mittelwert genug. Dieser Schwierigkeit könnte man durch Verwendung von Höhenwindmessungen, die mittels Fesselaufstiegen (Drachen oder Ballon) gewonnen wurden, aus dem Wege gehen. — Hierdurch würde zugleich auch die beim Pilotmeßverfahren bestehende Einseitigkeit des Materials durch Bevorzugung von Schönwetterlagen praktisch ausgeschaltet. Doch dürfte es nicht einfach sein, so beschaffenes Material in der für unsere Zwecke notwendigen Art (gleichzeitige Aufstiege an benachbarten Stationen) zu gewinnen. Im prakti-

schen Wetterdienst werden regelmäßige Fesselaufstiege ja nur in Lindenberg und Friedrichshafen ausgeführt. Es ist diesbezüglich auf die Ausführungen hinzuweisen, die den Einzelabschnitt „Sprungschichten" im zweiten Teil beschließen (S. 59), wo bereits angedeutet wurde, wie etwa im Süden Berlins unter Verwendung der Aufstiegstelle Lindenberg und durch Einsatz des Gerätes vom Schießplatz Kummersdorf sowie Entsendung einer „fliegenden" dritten Station an einen geeigneten Ort ein provisorisches Stationsdreieck zu bilden wäre. Was dort bereits über das so zu gewinnende Material gesagt wurde, gilt für die gesamten im Rahmen dieser Arbeit vorgenommenen Untersuchungen: Erhielte man auf diese Weise auch nur wenige, aber bestmöglich repräsentative Aufstiegsserien, die außerdem bei wirklich typischen Wetterlagen gewonnen wurden, so ließen sich durch die Bearbeitung dieser Einzelfälle die bisher gefundenen Ergebnisse befestigen und gewiß auch manche Einzelheiten herausstellen, die bei dem Auswerten des vorliegenden Höhenwindmaterials verborgen geblieben sind.

ANHANG.

ABKÜRZUNGEN UND ZEICHEN.

Hb	: Hamburg	Brl	: Breslau
Hv	: Hannover	Dr	: Dresden
Brm	: Bremen	Gl	: Gleiwitz
Richt	: Richtung	H	: Hoch
Geschw	: Geschwindigkeit	T	: Tief
Üst	: Übereinstimmung	IV	: Isobaren-Verlauf
Stö	: Störung(en)	IRicht	: Isobaren-Richtung
Abw	: Abweichung(en)	WZ	: Windziffern (nach der 32 er Skala)

Erklärung zu den an den Windmeßwerten angebrachten Zeichen:

Die zwischen je zwei zusammengehörigen Werten (siehe S. 16) auftretenden Abweichungen wurden ihrer jeweiligen Größenordnung entsprechend verschieden gekennzeichnet.

Beim NW-Dreieck wurden diese Zeichen

für die Wertepaare Hb—Brm bei den Meßwerten von Hb,
„ „ „ Hb—Hv „ „ „ „ Hv,
„ „ „ Hv—Brm „ „ „ „ Brm,

beim SE-Dreieck

für die Wertepaare Brl—Gl bei den Meßwerten von Brl,
„ „ „ Brl—Dr „ „ „ „ Dr,
„ „ „ Dr—Gl „ „ „ „ Gl

angebracht; und zwar:

für Gruppe II*): 1 Strich
„ „ III : 2 Striche
„ „ IV : 1 Punkt
„ „ V : 2 Punkte.

(Die Zeichen befinden sich bei der Windrichtung rechts neben den Meßwerten — bei der Geschwindigkeit unter diesen.)

*) Siehe S. 17—19.

Abweichungen der Gruppe I („Üst")*) blieben ohne besondere Zeichen.

Beispiel: Windmeßwerte beim NW-Bezirk, Höhenlage 1000 m.

Station	1000	m
Hb	18: 8	WZ m/sec
Hv	20 11	WZ m/sec
Brm	31. 3	WZ m/sec

Stationspaare	Abweichungen			
	Richtung		Geschwindigkeit	
	WZ	Gruppe	m/sec	Gruppe
Hb—Brm	13	V	5	III
Hb—Hv	2	I	3	II
Hv—Brm	11	IV	8	IV

LITERATURVERZEICHNIS.

1. Aerologische Berichte. Herausgegeben vom Reichsamt für Wetterdienst, Berlin.
2. Deutsches Meteorologisches Jahrbuch, Teil V: Aerologische Beobachtungen. Herausgegeben vom Reichsamt für Wetterdienst, Berlin.
3. R. Becker, Untersuchungen über die Feinstruktur des Windes. Met. Zeitschr. 1930, S. 184.
4. H. Berg, Über Höhenwindbestimmungen und Höhenwindangaben. „Wetter" 1935, Heft 2, S. 49—50.

5.—10. A. Defant, Wetter und Wettervorhersage. 2. Aufl. Leipzig und Wien 1926.
5. S. 118 ff. / 6. S. 49—50 / 7. S. 62 / 8. S. 65, 79 / 9. S. 173 unten, f. oben / 10. S. 156 m.

11.—20. F. M. Exner, Dynamische Meteorologie. 2. Aufl., Wien 1925.
11. S. 108 oben / 12. S. 310 / 13. S. 356 / 14. S. 290 / 15. S. 357 / 16. S. 359 / 17. S. 345 / 18. S. 347 m. / 19. S. 349 / 20. S. 364 oben.

21. H. v. Ficker, Siehe im Text. Met. Zeitschr. 1913, S. 285.

22.—23. H. v. Ficker, Wetter und Wetterentwicklung. Berlin 1932.
22. S. 107 / 23. S. 95.

24. W. Georgii, Flugmeteorologie. Leipzig 1927, S. 92—104.
25. W. Georgii, Die Luftströmung über Gebirgen. Met. Zeitschr. 1923, S. 110.

26.—27. J. v. Hann, Lehrbuch der Meteorologie. 3. Aufl., 1915.
26. S. 543 / 27. S. 554.

28. E. Kleinschmidt, Handbuch der meteorologischen Instrumente und ihrer Auswertung. Berlin 1935, S. 451 unten.
29. J. Kölzer, Zur Frage des Gültigkeitsbereichs von Höhenwindmessungen. „Flugkapitän" Bd. 6, Heft 2/3, 1932.
30. J. Kölzer, Neue Methoden zur Erzielung von Windmessungen in großen Höhen bei Nacht. Zeitschr. f. Flugtechnik u. Motorluftschiffahrt 1929, S. 199 f.
31. P. Mildner, Über die Turbulenz des Windes, beobachtet mit Hilfe von doppelt und einfach visierten Pilotballonen. Beitr. Phys. fr. Atm. XX (1933), S. 114—126.

*) Siehe S. 17—19.

32. F. Möller, Über Differenzenmethoden bei Höhenwinden. Ann. Hydr. 1934, Heft VII, S. 184 unten.
33. F. Möller, Druckfeld und Wind. Met. Zeitschr. 1936, Heft 8, S. 291 (linke Spalte).
34. A. Peppler, Windgeschwindigkeiten und Drehungen in Zyklonen und Antizyklonen. Beitr. Phys. fr. Atm. IV (1912), S. 91 ff.
35. P. Raethjen, Stabilitätstheorie der Zyklonen. Met. Zeitschr. 1936, Heft 12, S. 466 (rechte Spalte).
36. J. W. Sandström, Siehe im Text. Bulletin Mount Weather Observ., Vol. 3, p. 5, 1911.
37.—38. R. Scherhag, Siehe im Text. Met. Zeitschr. 1936, Heft 1.
37. S. 2—3 / 38. S. 2.
39.—40. G. Schinze, Die praktische Wetteranalyse. Archiv d. Deutsch. Seewarte, 52. Bd., Nr. 1.
39. S. 16 / 40. S. 52 f.
41. G. Stüve, Wolken und Gleitflächen. Arb. Preuß. Aeronaut. Obs. Lindenberg, XV, 1926, S. 215—224.
42. R. Süring, Die Wolken. Leipzig 1936, S. 74 f.
43. R. Wenger, Die Steiggeschwindigkeit der Gummiballone und die Turbulenz in der Atmosphäre. Ann. Hydr. 1917, Heft IV, S. 121—137.

WETTERKARTEN.

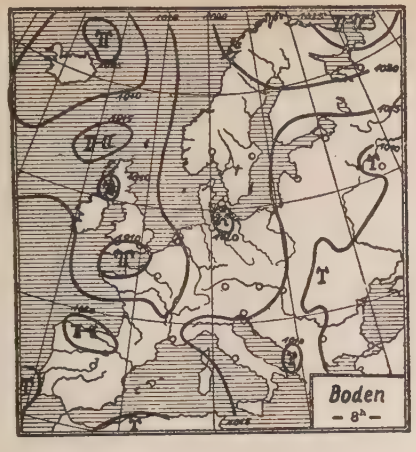
18. 7. 1934	6. 5. 1935
19. 7. 1934	9. 5. 1935
3. 9. 1934	10. 5. 1935
5. 3. 1935	29. 5. 1935
7. 3. 1935	1. 7. 1935
4. 5. 1935	

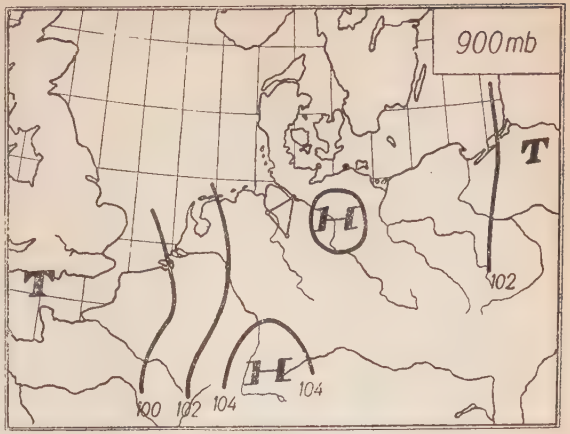
1. Drucklage am Boden (Europakarte). Isobaren von 5 zu 5 mb.
2. Drucklage in der Höhe (Mitteleuropakarten). Isohypsen der Hauptdruckflächen: 900, 700, 500 mb (siehe S. 26 f.).

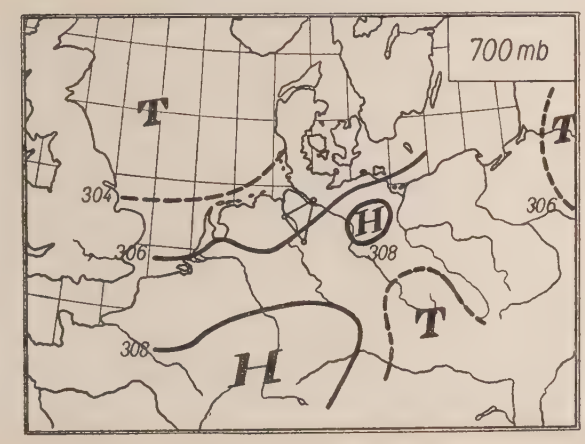
Den Druckkarten liegen die Morgenmessungen zugrunde.

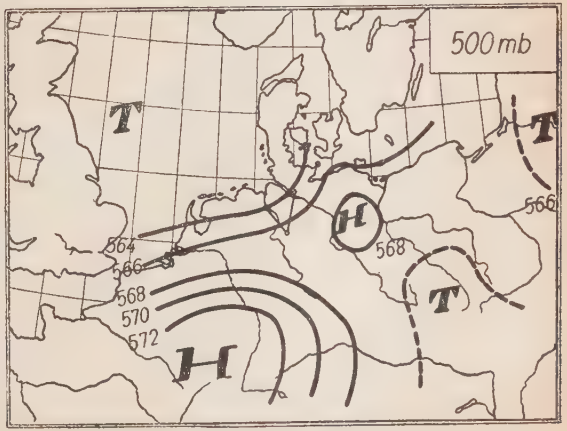
Die erforderlichen Werte wurden dem „Täglichen Wetterbericht der Deutschen Seewarte“ entnommen.

Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **18. 7. 1934** morgens.

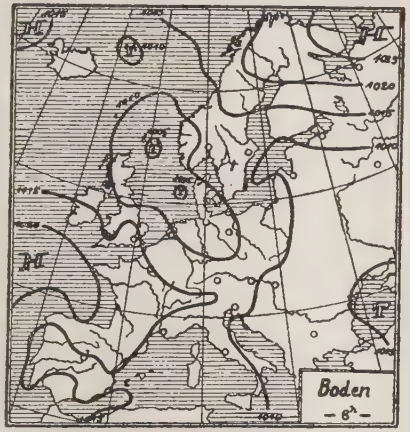


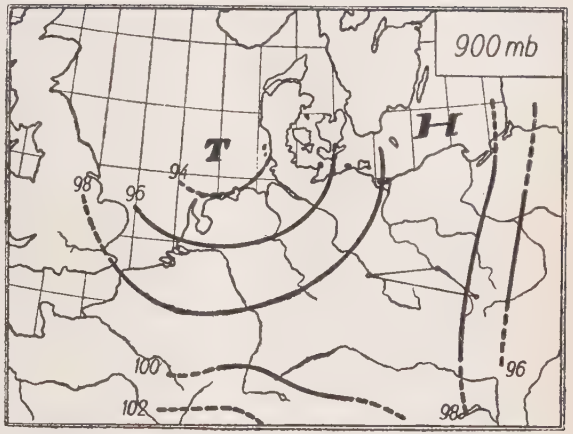


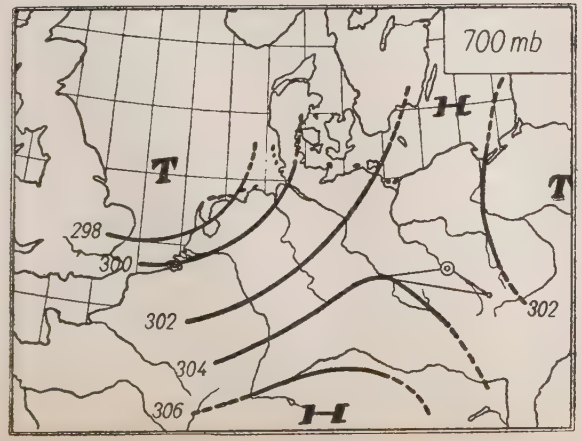


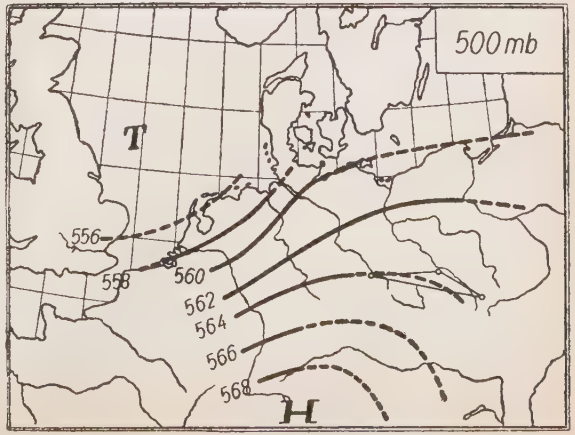


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **19. 7. 1934** morgens.

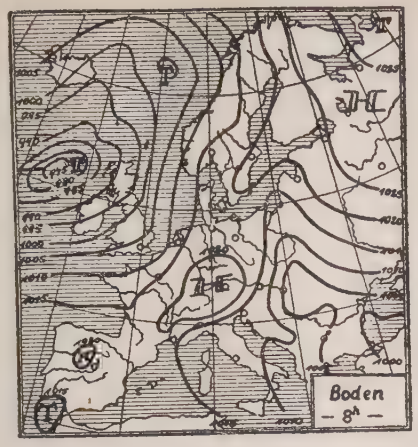


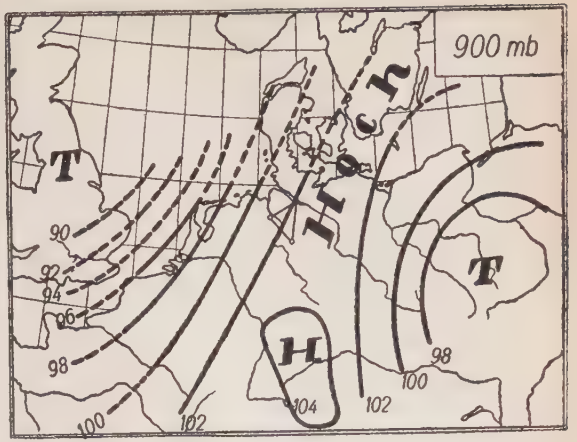


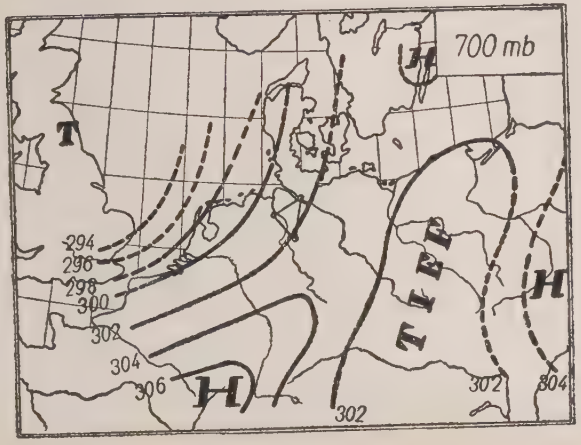


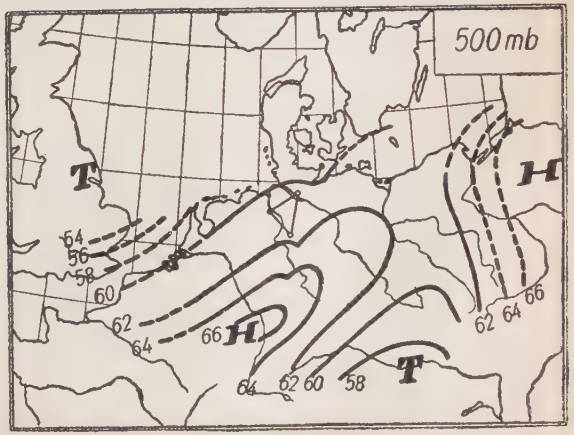


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **3. 9. 1934** morgens.

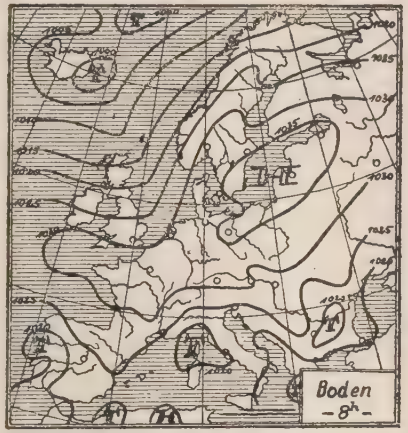


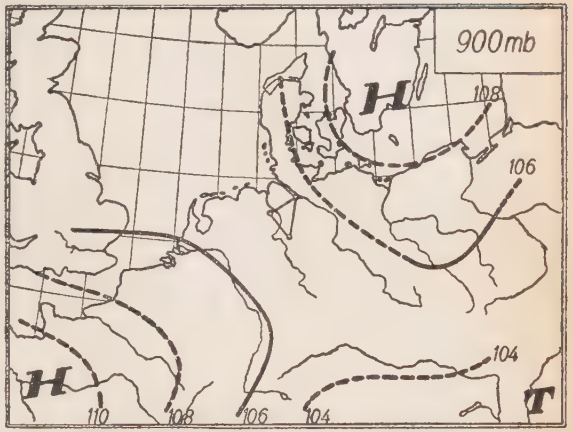


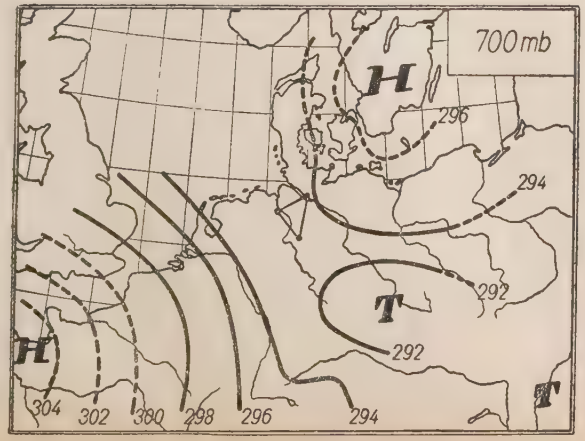


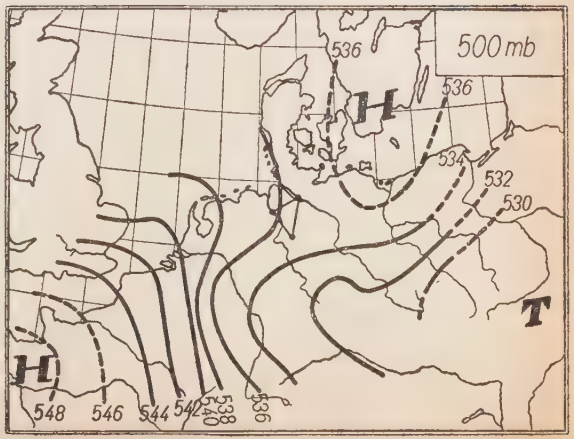


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am 5. 3. 1935 morgens.

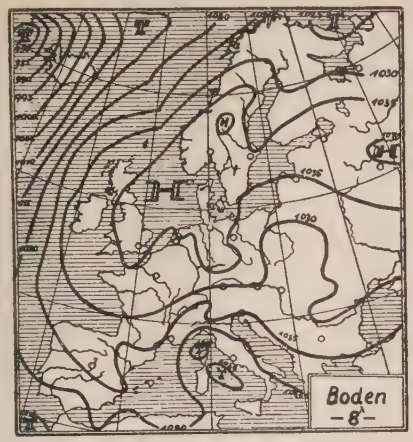


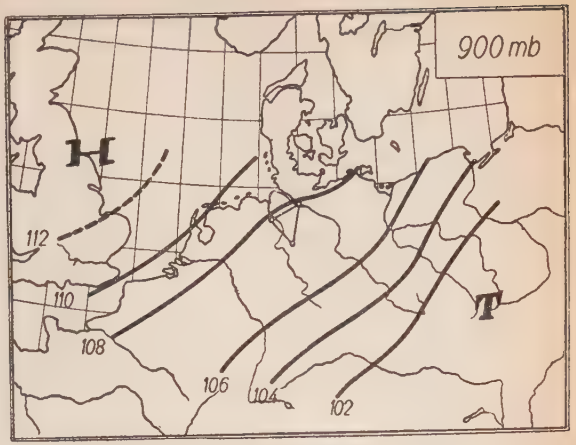


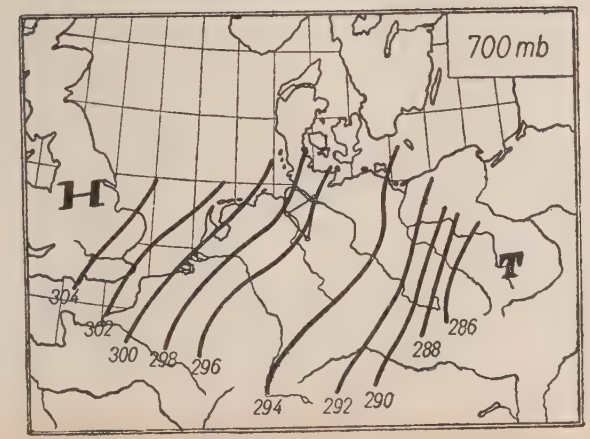


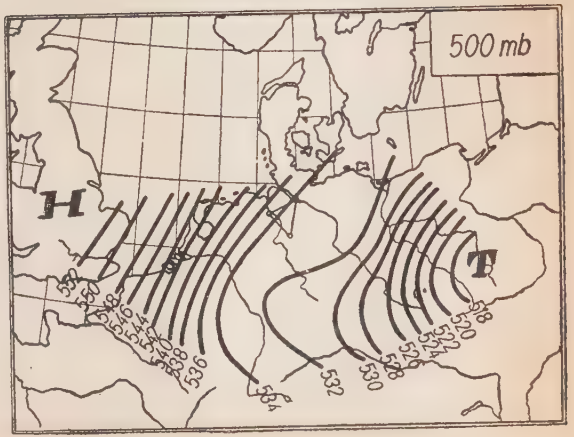


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **7. 3. 1935** morgens.

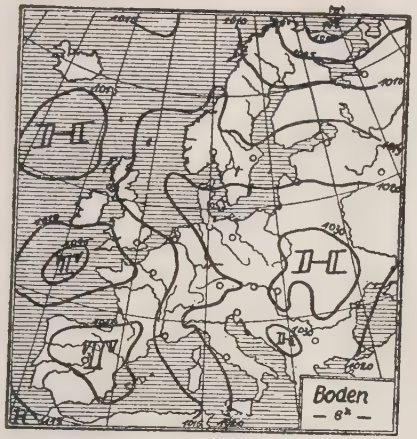


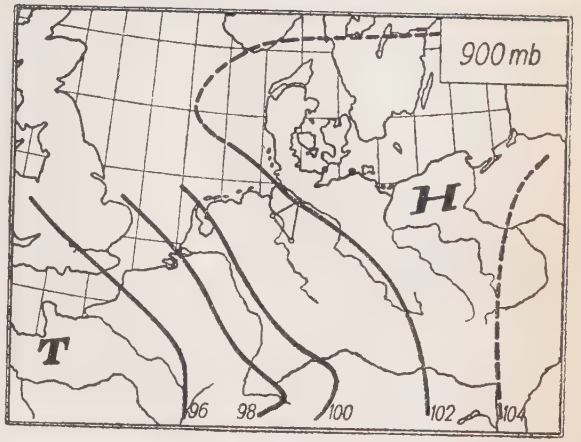


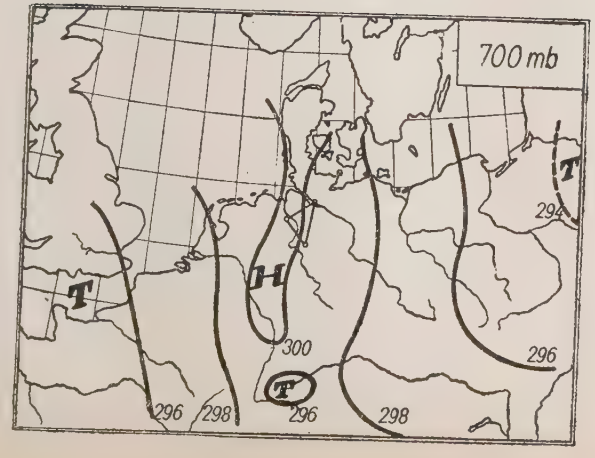


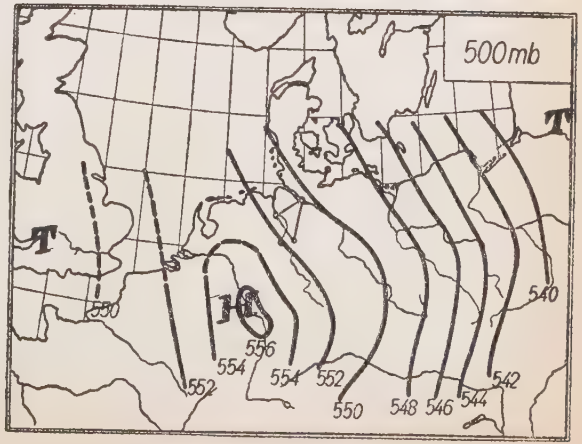


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **4. 5. 1935** morgens.

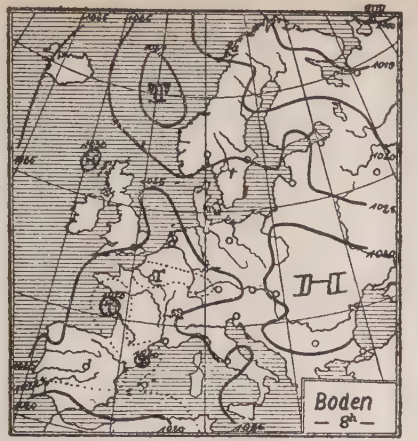


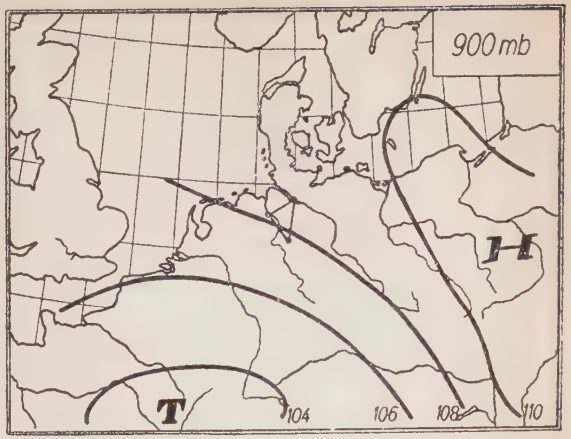


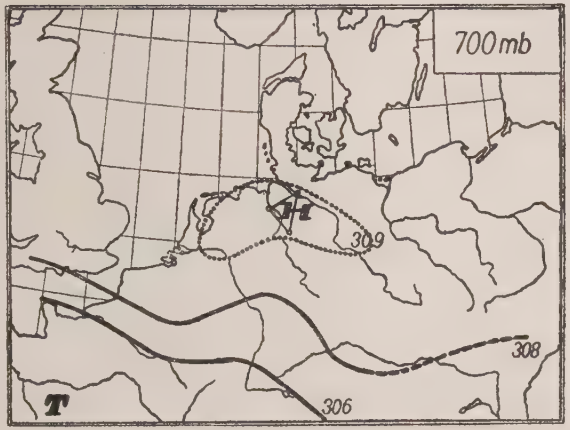


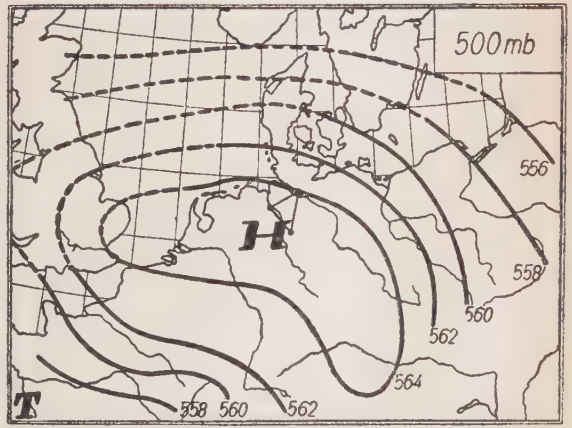


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **6. 5. 1935** morgens.

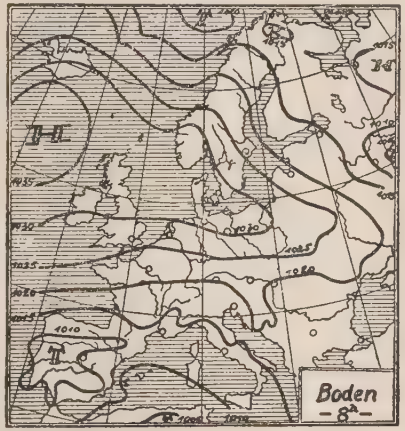


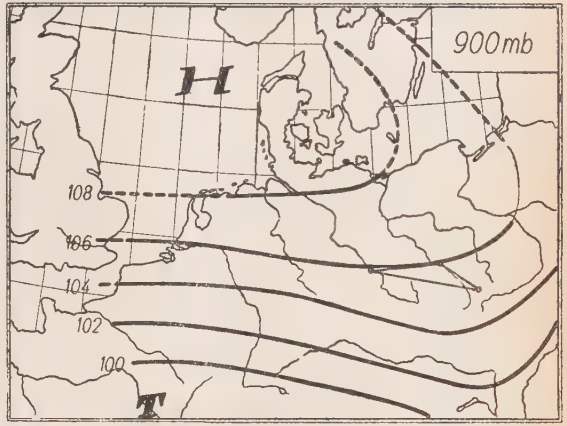


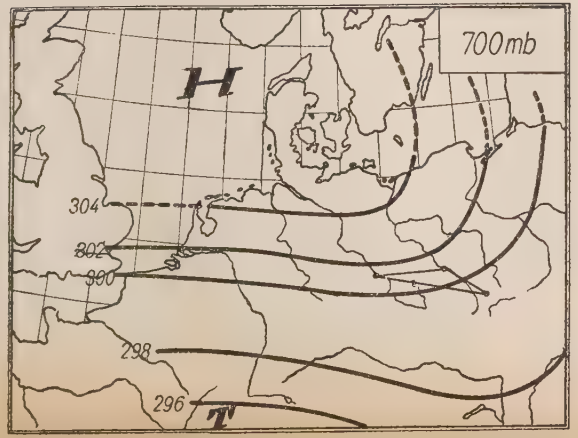


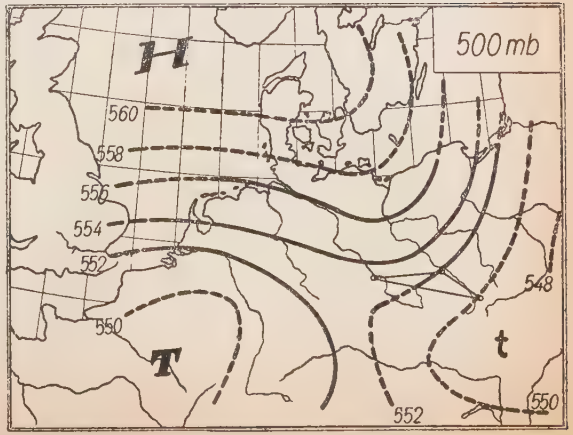


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **9. 5. 1935** morgens.

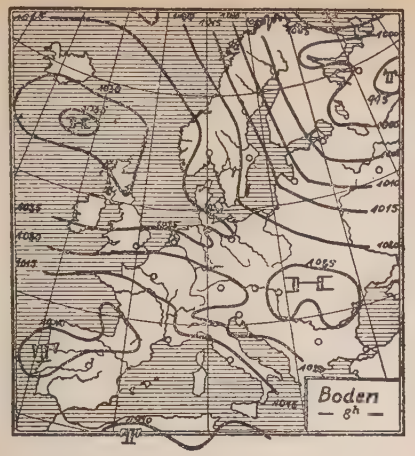


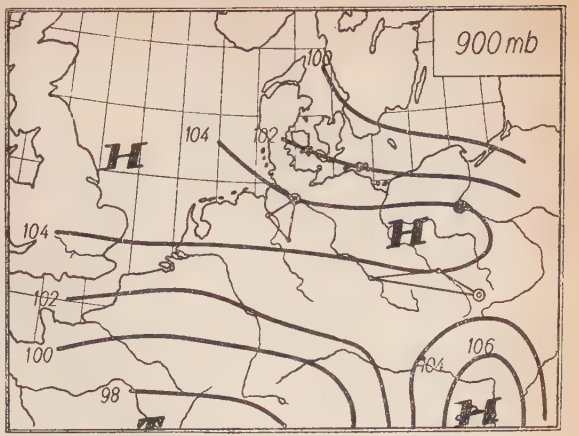


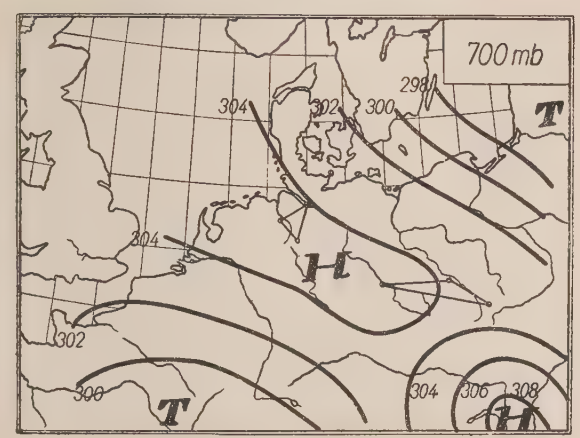


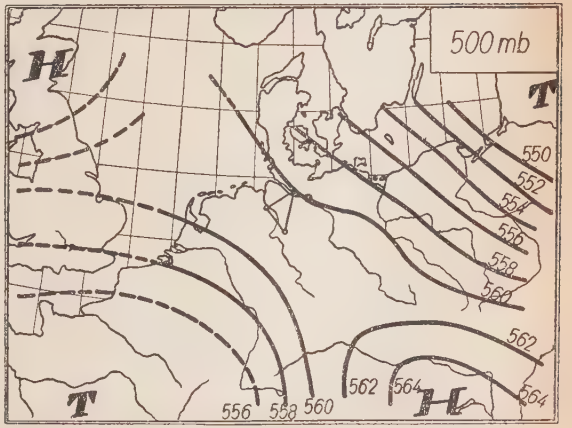


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **10. 5. 1935** morgens.

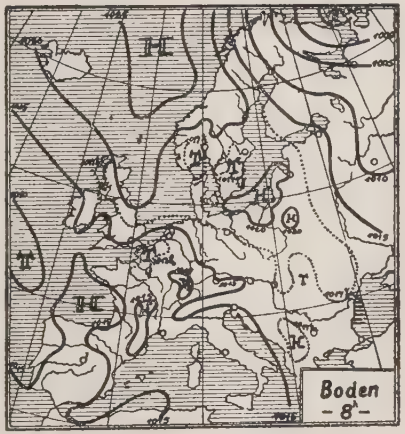


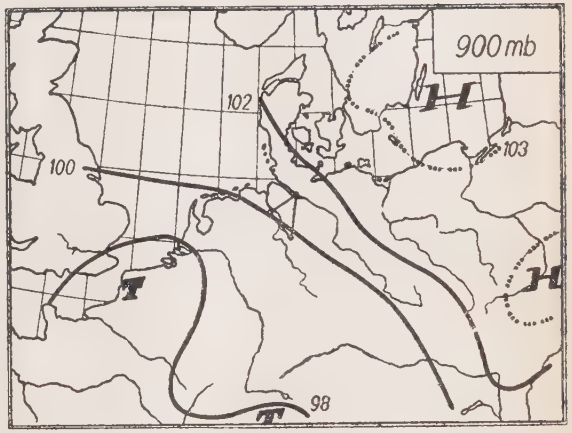


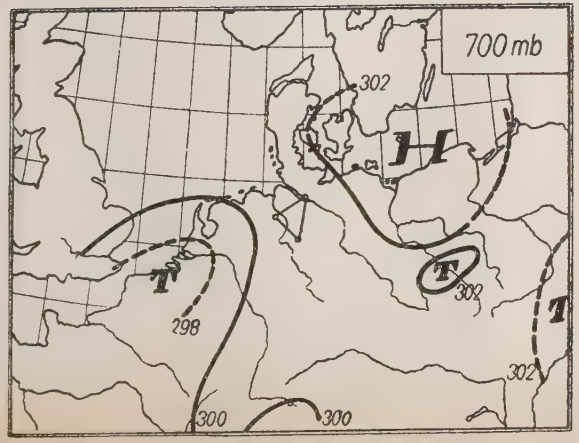


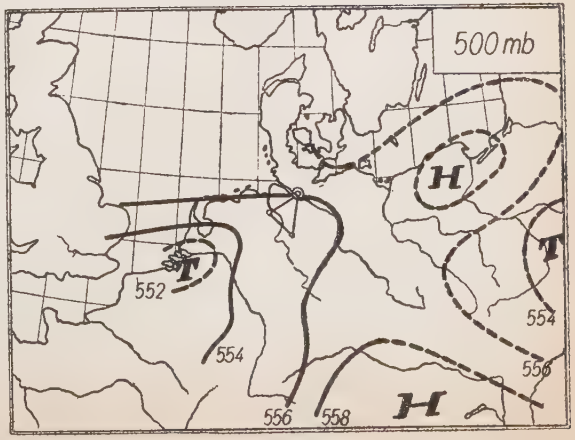


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **29. 5. 1935** morgens.

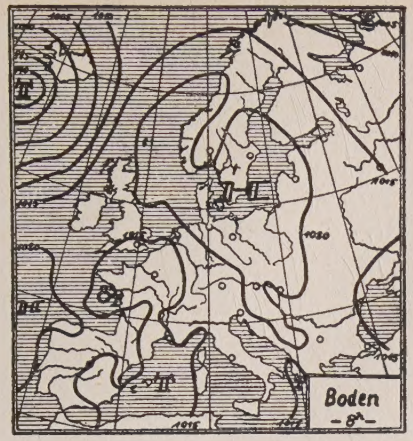


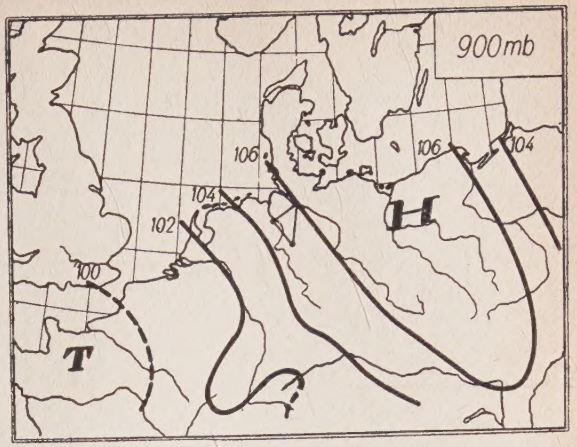


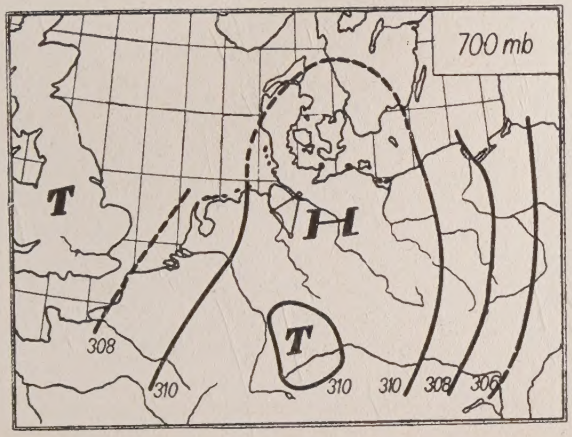


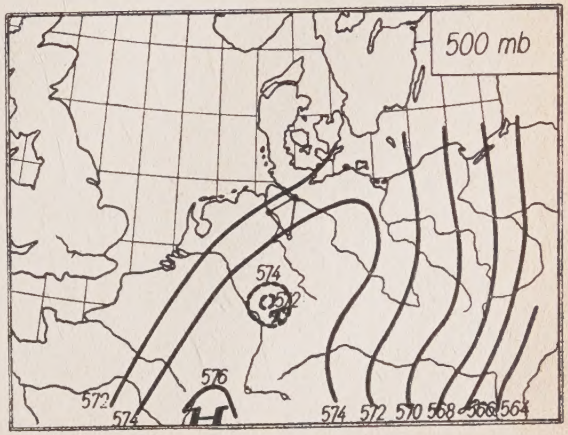


Druckverteilung am Boden und absolute Topographien der 900-, 700- und 500-mb-Flächen am **1. 7. 1935** morgens.









LEBENSLAUF

Am 5. März 1913 wurde ich als Sohn des Reg.-Landmessers Walther Graf, verstorben im Jahre 1930, und seiner Ehefrau Gertrud, geborene Thiele, in Halle a. d. S. geboren. Ich besuchte das Realgymnasium in Nordhausen und legte dort im Frühjahr 1931 die Reifeprüfung ab. Mein meteorologisches Studium begann ich mit dem Wintersemester 1932/33 an der Universität in Göttingen und setzte es im Herbst 1933 an der Rostocker Universität fort. Vom Winterhalbjahr 1934/35 ab studierte ich an der Universität Berlin. Ich hörte Vorlesungen über Meteorologie, Ozeanographie, Physik, Mathematik, Geophysik, Erdkunde und Pilosophie.

Während der Semester Winter 1935/36 und Sommer 1936 war ich für die Arbeiten an meiner Dissertation beurlaubt, danach ließ ich mich exmatrikulieren. — Vom Dezember 1934 war ich mit einigen Unterbrechungen bis zum Herbst 1937 im Meteorologischen Büro des Herrn Ministerialrat Prof. Dr. Kölzer als wissenschaftliche Hilfskraft angestellt. Meine Lehrer waren die Professoren: Angenheister, Bachér, Cario, Defant, Falckenberg, v. Ficker, Füchtbauer, Hofmann, Jessen, Jung, Kähler, Kölzer, Kunze, Pohl, Robitzsch, Seyfarth, Thomsen, Ule, Ulich, Weber, Wehnelt. Ihnen allen, besonders aber den Herren Referenten dieser Arbeit, spreche ich meinen Dank aus.